



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

**MODERNÍ JEDNOTKA PRO ENERGETICKÉ VYUŽITÍ
ODPADŮ O STŘEDNÍ KAPACITĚ**

UP-TO-DATE MEDIUM CAPACITY WASTE-TO-ENERGY UNIT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Krišpín

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Ladislav Bébar, CSc.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav procesního inženýrství
Student: **Bc. Jan Krišpín**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Procesní inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Ladislav Bébar, CSc.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Moderní jednotka pro energetické využití odpadů o střední kapacitě

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Využití energie uvolněné spalováním komunálních odpadů pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie může být jedním z možných řešení problému energetické a ekonomické soběstačnosti regionálních celků. Diplomová práce bude zaměřena na vytvoření moderního strojně–technologického řešení a aparátové skladby středotonážního zařízení pro energetické využití odpadu, jež bude součástí regionálního energetického komplexu.

Cíle diplomové práce:

Navrhnout koncepci středotonážní modelové spalovny komunálních odpadů.
Zpracovat návrh strojně–technologického řešení středotonážní modelové spalovny komunálních odpadů zahrnující hlavní technologické uzly a operace.
Provést návrh rozměrů hlavních aparátů.
Diskutovat dispoziční uspořádání.
Provést odhad investičních nákladů hlavních aparátů.

Seznam doporučené literatury:

STEHLÍK P. Up-to-Date Waste-to-Energy Approach - From Idea to Industrial Application, (2016), SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology, ISBN 978-3-319-15466-4
SANTOLERI, J. J., REYNOLDS J. and THEODORE L., Introduction to Hazardous Waste Incineration, Second Edition, John Wiley & Sons, New York, ISBN 0-471-011790-6, (2000)
PAVLAS, M., BEBAR, L., KROPÁČ, J., STEHLÍK, P., Waste to energy - an evaluation of the environmental impact, Chemical Engineering Transactions, Vol. 18, p. 671-676, (2009)

Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste, Official Journal of the European Communities, L332/91-L332/111, 28. 12. 2000

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Předkládaná práce se zabývá strojně-technologickým řešením moderní technologické jednotky pro energetické využití odpadu střední kapacity. Úvodem jsou specifikovány požadavky na provoz zařízení a zadané parametry modelového regionu, které jsou doplněny technologickým schématem zařízení s popisem hlavních technologických celků. Pro splnění cílů práce jsou shrnuty základní bilanční údaje vyplývající ze zadání včetně bilančního schématu. Tyto údaje jsou podkladem pro řešení dispozice hlavních celků na uvažovaném stavebním místě a stanovení základních parametrů nezbytných pro návrh hlavních aparátů doplněných o bližší popis. Aparáty jsou schematicky znázorněny včetně jejich hlavních rozměrů a popisu konstrukce. Při řešení jsou uvažovány moderní inovační prvky jednotlivých vybraných aparátů mající vliv na celkovou efektivitu. Na závěr jsou stručně sumarizovány náklady strojně-technologického řešení pro účely dalšího ekonomického posouzení projektu.

ABSTRACT

The submitted Master Thesis deals with the technological/mechanical solution of an up-to-date medium capacity waste-to-energy plant. Operational requirements and basic parameters related to a concrete region are specified in the introduction of the Thesis. This is supplemented by a flow-sheet of the plant with the description of main process subsystems. To meet the goals of the Thesis basic balance information is summarized and related schemes included. These data represent principal inputs for the on-site plant as well as basic parameters for the design of key equipment. These pieces of equipment are schematically drawn including their basic parameters and a description of construction. All the available innovative solutions are taken into account. The Thesis provides also a technical-economic analysis for being able to evaluate the overall project.

Klíčová slova

energetické využití odpadu, BAT, systém NERUDA, konstrukce EVO

Key words

waste to energy, BAT, NERUDA system, WTE construction

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KRIŠPÍN, Jan. 2017. *Moderní jednotka pro energetické využití odpadů o střední kapacitě*. Brno. Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, ústav procesního a inženýrství. 88 s. Vedoucí práce doc. Ing. Ladislav BÉBAR, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci na téma *Moderní jednotka pro energetické využití odpadů o střední kapacitě* zpracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Ladislava Bébara, CSc. Veškeré prameny a zdroje informací, které jsem použil k sepsání této práce, jsou uvedeny v seznamu použitých pramenů.

Datum

Bc. Jan Krišpín

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji doc. Ing. Ladislavu Bébarovi, CSc., za vstřícný přístup, obětovaný čas a za mnoho cenných rad při studiu a zejména v průběhu vedení diplomové práce. Dále děkuji prof. Ing. Petru Stehlíkovi, CSc. za pomoc, inspiraci a podporu během studia.

Děkuji svým blízkým, přátelům a zejména rodině za podporu při studiu.

Závěrem děkuji zaměstnancům společnosti EVECO Brno za příjemnou spolupráci, inspirující prostředí a zejména za cenné zkušenosti, které jsem při práci v této společnosti získal.

OBSAH

1	MOTIVACE PRÁCE	11
1.1	VYMEZENÍ PROBLÉMU	11
1.2	CÍLE PRÁCE	11
2	CHARAKTERISTIKA SOUČASNÉHO STAVU	12
2.1	STÁVAJÍCÍ LEGISLATIVA ČR.....	17
2.2	STÁVAJÍCÍ LEGISLATIVA EU	23
2.2.1	<i>Dodávání a příjem odpadu</i>	<i>23</i>
2.2.2	<i>Provozní podmínky.....</i>	<i>23</i>
2.2.3	<i>Limitní hodnoty emisí do ovzduší</i>	<i>24</i>
2.2.4	<i>Vypouštění odpadní vody ze zařízení na čištění odpadních plynů</i>	<i>24</i>
2.2.5	<i>Zbytky ze spalování a zpracování odpadů</i>	<i>25</i>
2.2.6	<i>BAT.....</i>	<i>25</i>
2.3	BUDOUCÍ LEGISLATIVA.....	26
3	ANALÝZA CELKOVÉ SITUACE.....	27
3.1	VÝBĚR VHDNÉ LOKALITY – SYSTÉM NERUDA.....	27
3.2	VSTUPNÍ DATA PRO NÁVRH ZAŘÍZENÍ VYPLÝVAJÍCÍ Z MODELOVÉHO REGIONU	28
3.3	POŽADOVANÁ ŽIVOTNOST ZAŘÍZENÍ	30
4	ZÁKLADNÍ BILANČNÍ ÚDAJE.....	31
4.1	BLOKOVÉ SCHÉMA ZEVO.....	31
4.2	BILANČNÍ SCHÉMA A HLAVNÍ PARAMETRY ZEVO	32
4.2.1	<i>Vodní hospodářství.....</i>	<i>33</i>
4.2.2	<i>Utilizace tepla</i>	<i>34</i>
4.2.3	<i>Okruh ohřevu CZT.....</i>	<i>34</i>
4.2.4	<i>Systém čištění spalin</i>	<i>35</i>
4.2.5	<i>Materiálová bilance procesu.....</i>	<i>36</i>
4.3	STROJNĚ-TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA ŘEŠENÉHO ZAŘÍZENÍ	38
5	STROJNĚ TECHNOLOGICKÉ ŘEŠENÍ ZAŘÍZENÍ.....	42
5.1	UVAŽOVANÝ CHARAKTER STAVEBNÍHO MÍSTA A NEZBYTNÉ TERÉNNÍ ÚPRAVY	42
5.2	PS01 PŘÍPRAVA A DÁVKOVÁNÍ ODPADU	42
5.2.1	<i>SB 101 Skladovací bunkr odpadu</i>	<i>42</i>
5.3	PS 02 SPALOVACÍ ZAŘÍZENÍ A UTILIZACE TEPLA	43
5.3.1	<i>CH 201 Spalovací komora</i>	<i>45</i>
5.3.2	<i>CH 203 Dohořivací komora</i>	<i>45</i>
5.3.3	<i>CH 205 Obrátová komora</i>	<i>45</i>
5.3.4	<i>Parogenerátor.....</i>	<i>46</i>
5.4	PS 03 PAROVODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ	46
5.4.1	<i>N 301 Sběrná nádrž kondenzátu</i>	<i>46</i>
5.4.2	<i>T 303 Nádrž napájecí vody s termickým odplyňovačem</i>	<i>47</i>
5.4.3	<i>T 312 Protitlaká turbína.....</i>	<i>47</i>
5.5	PS 04 CHLADICÍ OKRUH.....	47
5.5.1	<i>VT 401 Výměník tepla chladicího okruhu.....</i>	<i>47</i>
5.5.2	<i>VM 402 Vzduchové chladiče (mařice tepla).....</i>	<i>48</i>
5.5.3	<i>EN 403 Expanzní nádoba chladicího okruhu</i>	<i>48</i>
5.6	PS 05 ČIŠTĚNÍ SPALIN	48
5.6.1	<i>CT 502 Kontaktor</i>	<i>50</i>
5.6.2	<i>FF 504 Tkaninový filtr I.</i>	<i>50</i>
5.6.3	<i>Doprava a řízení toku spalin</i>	<i>51</i>
5.6.4	<i>R 518 SCR reaktor.....</i>	<i>51</i>
5.6.5	<i>FF 521 Tkaninový filtr II.</i>	<i>52</i>

5.7	PS 06 POMOCNÉ PROVOZY	52
5.7.1	Čpavkové hospodářství.....	54
5.7.2	Hospodářství NaHCO_3	54
5.7.3	Hospodářství aktivního uhlí	55
5.7.4	Popílkové hospodářství.....	56
5.8	PS 07 AMS + KOMÍN	56
5.8.1	EM 701 Emisní monitoring.....	56
5.8.2	KO 702 Komín	57
5.9	PS 08 KOMPRESOROVNA	57
5.9.1	BL 801 Kompresor	58
5.9.2	T 802 Vzdušník	58
5.9.3	HE 803 Sušička tlakového vzduchu.....	59
5.10	PS 09 VÝMĚNÍKOVÁ STANICE CZT	59
5.10.1	Parní výměníky	59
6	DISPOZICE ROZMÍSTĚNÍ HLAVNÍCH TECHNOLOGICKÝCH CELKŮ	60
6.1	IDENTIFIKACE VELKÝCH STAVEBNÍCH CELKŮ	61
6.2	IDENTIFIKACE ROZSÁHLÝCH KONSTRUKCÍ A APARÁTŮ	61
6.3	ROZMÍSTĚNÍ VELKÝCH CELKŮ	64
6.4	ROZMÍSTĚNÍ MENŠÍCH CELKŮ	65
6.5	NÁVRH OBSLUŽNÝCH KONSTRUKCÍ A PROPOJENÍ HLAVNÍCH ČÁSTÍ	67
6.6	NÁVRH ZPEVNĚNÝCH PLOCH A OBSLUŽNÝCH KOMUNIKACÍ	67
6.7	VÝSLEDNÉ DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ ZEVO	68
7	ODHAD INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ	74
7.1	ODHAD NÁKLADŮ NA PROJEKČNÍ A INŽENÝRSKÉ PRÁCE	74
7.2	ODHAD STAVEBNÍCH NÁKLADŮ	74
7.3	ODHAD NÁKLADŮ NA STROJNÍ ZAŘÍZENÍ	74
8	SOUHRN INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ	75
8.1	TEORETICKÝ ODHAD INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ	75
8.2	POROVNÁNÍ TEORETICKÉHO ODHADU A BASIC-DESIGNU	75
	ZÁVĚR	77
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	80
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	83
	SEZNAM SYMBOLŮ	84
	SEZNAM OBRÁZKŮ	85
	SEZNAM TABULEK	86
	SEZNAM PŘÍLOH.....	87

ÚVOD

Počátek 21. století v České republice je pevně svázán se značným rozvojem infrastruktury za pomoci dotací EU a s hledáním vhodného vzoru v rozvoji mezi západními státy. Ačkoli ČR zaznamenala značný pokrok v třídění odpadu, je stále skládkováno více odpadu, než je z dlouhodobého hlediska ekologicky přípustné. Jednou z možností, jak omezit skládkování odpadu, je vybudování systému zařízení, která termicky využívají odpad pro výrobu tepelné nebo elektrické energie.

Problematicku struktury tohoto systému účinně řeší systém NERUDA [1], který se stal zdrojem informací Ministerstva průmyslu a obchodu pro účely strategického plánování nakládání s odpady. Tento plán zahrnuje i možnosti vhodného rozmístění zařízení pro energetické využití tepla tak, aby bylo možné tato zařízení implementovat do stávajícího systému energetického zásobování ČR.

V současné době takto nákladné projekty mohou obstát, pouze pokud jsou podpořeny legislativně anebo jsou-li ekonomicky výhodnou investicí. Přestože je legislativní podpora těchto projektů v ČR na poměrně dobré úrovni, je pro jejich konkurenceschopnost nezbytné, aby této výhodnosti dosahovaly. V tomto smyslu vznikla myšlenka budování zařízení pro energetické využití odpadu malé a střední kapacity s hojným užíváním normalizovaných součástí, které mají nižší cenu. Taková zařízení jsou díky své ceně lépe dostupná pro investory.

Ačkoli lze odhadovat investiční náklady obdobného zařízení i bez detailního rozpracování konstrukce, je ze strany investora i projektanta výhodné znát přesnější odhad investičních nákladů na konstrukci takového zařízení. Tato znalost současně umožňuje konkurovat zahraničním společnostem i na potenciálních trzích ve východních částech Evropy, kde je v současné době zpracování odpadu řešeno majoritně skládkováním.

Pro získání přesnějšího odhadu investičních nákladů je obecnou zvyklostí vytvořit tzv. basic design, kde jsou ve zjednodušené formě uspořádány významné části konstrukce. Basic design umožňuje investorům vytvořit si představu o vhodném uspořádání, prostorové náročnosti apod. Takto vytvořený basic design lze dále využívat pro zpřesňování ekonomické rozvahy projektu a vyplnění prostoru na trhu. Basic design, který je pro účely této práce vytvořen, v konečném důsledku ústí ve zhodnocení investičních nákladů strojně-technologického řešení zařízení pro energetické využití odpadu.

Zařízení energetického využití tepla přispívají k energetické soběstačnosti ČR a termickým využíváním odpadu také dochází ke snížení skládkovaného objemu na 5-10 % původní hodnoty. Tímto způsobem lze částečně nahradit spotřebu fosilních paliv a vytváří se úspora v zásobách strategických surovin státu.

Obdobná zařízení je výhodné využívat přednostně pro účely vytápění aglomerací prostřednictvím centrálního zásobování teplem s malým množstvím vyráběné elektrické energie, a to především pro vlastní potřebu. Centrální zásobování teplem soustřeďuje termický proces na jedno místo, a tím umožňuje efektivně omezovat emise do ovzduší. Je tudíž zřejmé, že je ekologicky i ekonomicky přínosné investovat do těchto zařízení, k čemuž je nezbytné vypracovat dostatečně detailní metodiku, kterou se tato práce zabývá.

1 MOTIVACE PRÁCE

1.1 Vymezení problému

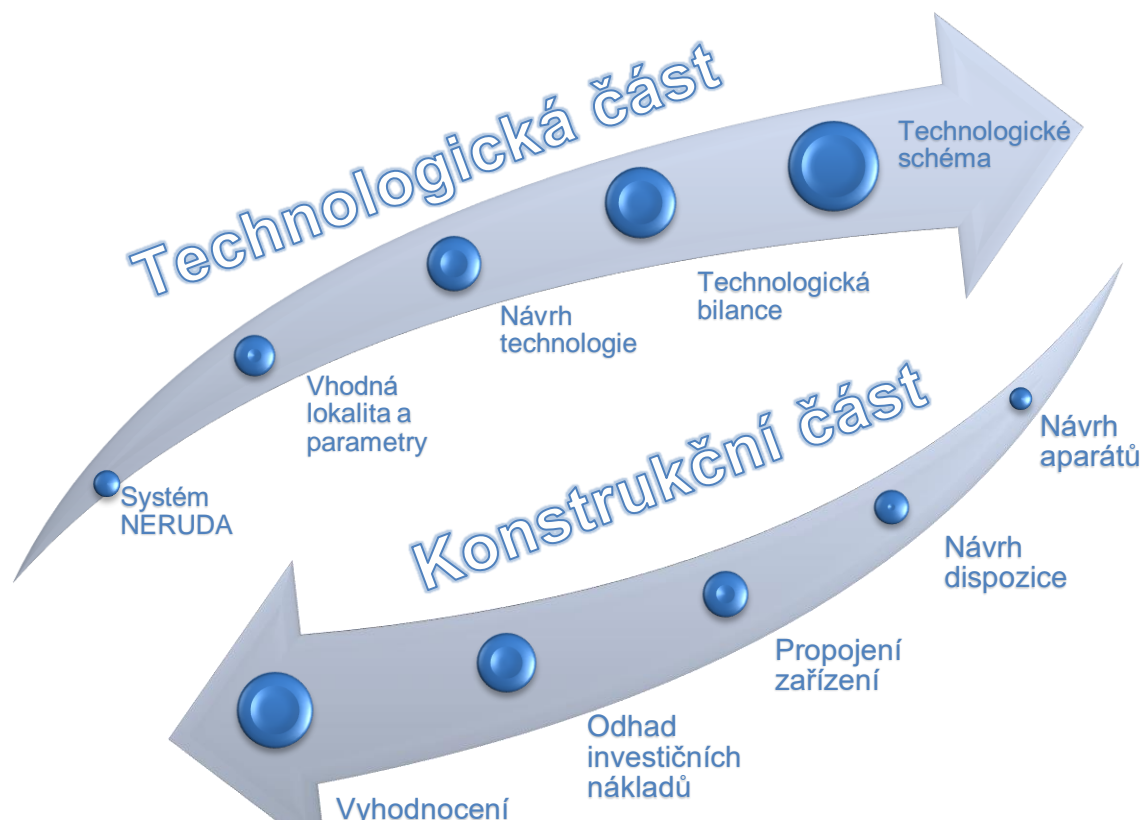
V rámci práce je navrženo strojně-technologické uspořádání zařízení EVO¹ o roční zpracovatelské kapacitě 20 kt pro účely zpřesnění investičních odhadů pro veřejné soutěže a je navržena metodika projektování takové konstrukce. Návrh konstrukčního provedení hlavních celků odpovídá vstupnímu zadání, ve kterém jsou definovány použité technologie, stavební místo, technologické schéma a základní bilanční údaje.

1.2 Cíle práce

Cílem práce je analýza požadavků na zařízení EVO a jeho kompatibility se systémem nakládání odpadů v ČR. Pro účely dalších úvah je nutné vymezit některé důležité požadavky, jako např. uvažovanou životnost zařízení a modelovou lokalitu.

V navazující části analýzy zadání je popsána funkce a vzájemná návaznost hlavních technologických celků ve strojně-technologickém a bilančním schématu, které jsou stěžejním podkladem pro další postup.

Na základě analýzy zadání je přistoupeno k syntéze řešení, jejímž cílem je návrh konstrukce hlavních technologických celků. Jednotlivé technologické celky jsou rozmístěny s ohledem na efektivitu a vhodnou funkci, čímž je dosaženo finálního dispozičního uspořádání zařízení, které je podkladem pro odhad investičních nákladů. Navrhnutá konstrukce musí odpovídat zadanému technologickému schématu a umožnit průběh nejdůležitějších procesů. Návaznost jednotlivých kroků komplexního řešení je zřejmá z obr. 1.1.



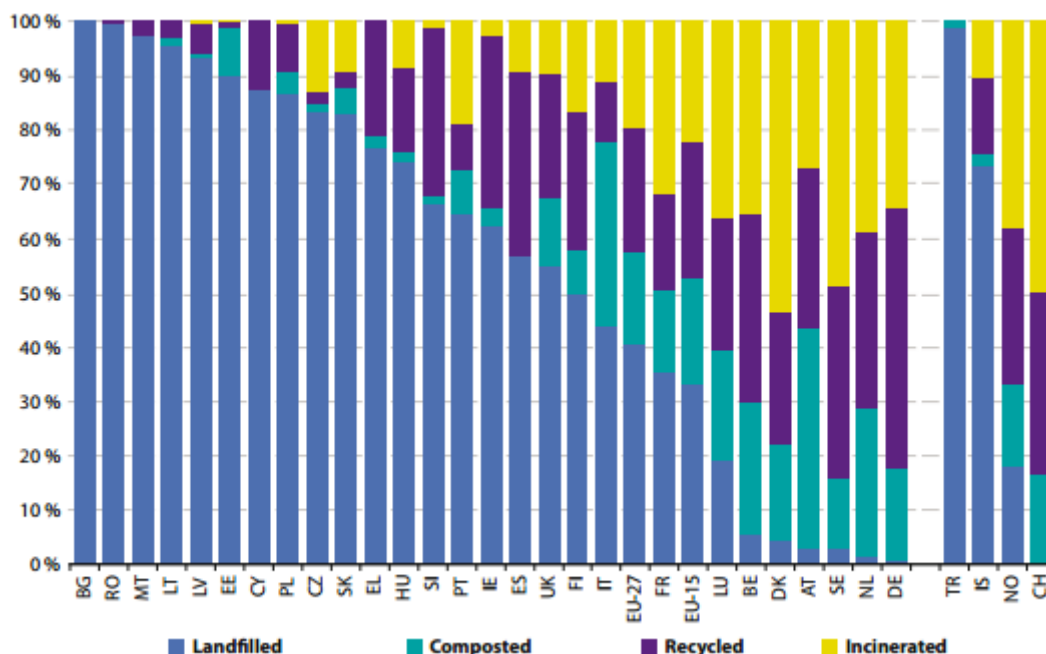
Obr. 1.1 – Rámcový algoritmus návrhu zařízení EVO

¹ Energetické využití odpadu

2 CHARAKTERISTIKA SOUČASNÉHO STAVU

V Evropské unii se ročně vyprodukuje cca 240 mil. t odpadů, které spadají do kategorie SKO², z čehož se přibližně 65 mil. t odpadu zpracovává termicky [2]. Z tohoto množství se cca 58 mil. t odpadu zpracovává s následným energetickým využitím uvolněné energie, což odpovídá 23 až 25 % celkového množství vyprodukovaného SKO. Tyto hodnoty odpovídají datům ze statistického úřadu Evropské unie k roku 2014 [2].

Průměrné energetické využití odpadu v rámci EU však není dostatečně průkazné pro důkladnou analýzu trhu. Detailnější vyhodnocení míry zpracování odpadů je uvedeno na obr. 2.1, kde je znázorněno rozložení jednotlivých způsobů nakládání s odpadem mezi evropskými státy. Je zřejmé, že státy, které byly v minulosti součástí tzv. východního bloku (*platí i pro ČR*), zpracovávají většinu odpadu skládkováním. Tento způsob nakládání s odpadem je v dlouhodobém měřítku v rozporu s trendy EU a lze tedy očekávat rozšíření výstavby zařízení EVO.



Obr. 2.1 – Mezinárodní srovnání struktury nakládání s odpady [%].

Modře – skládkování, zeleně – kompostování, fialově – recyklování, žlutě – termické zpracování (převzato) [3].

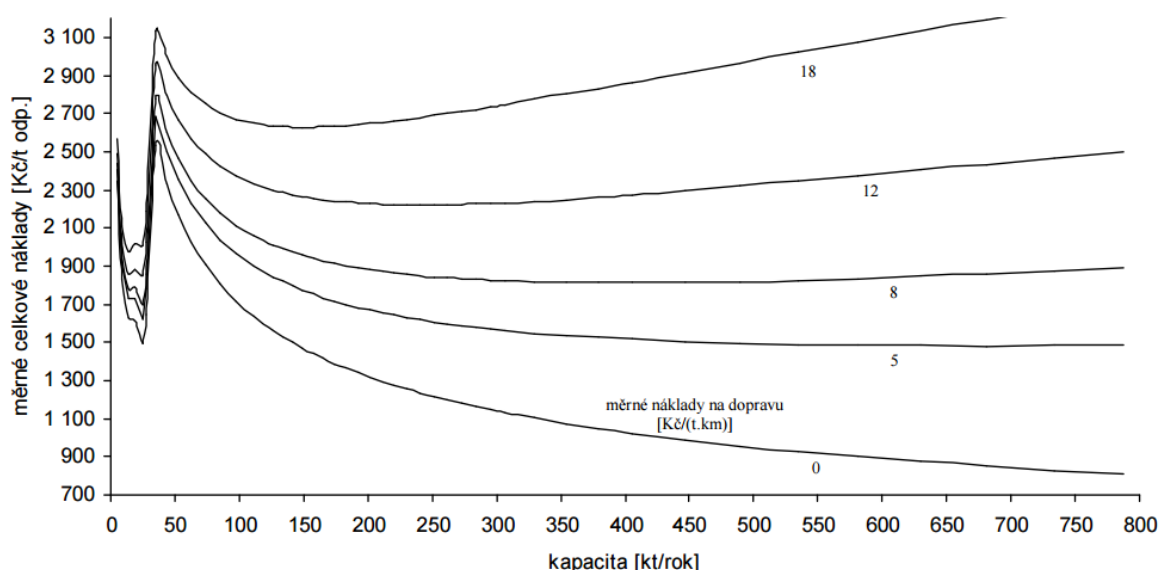
V ČR se k roku 2014 vytvořilo cca 4,15 mil. t SKO, z čehož se cca 600 kt termicky zpracovalo s následným využitím tepla. To činí cca 14 až 15 % z celkového množství [4]. Při pohledu na uvedené hodnoty je zřejmé, že existuje značný rozdíl mezi průměrem EU a podmínkami v ČR, zejména ve srovnání se západní částí EU. Tendence EU směřuje k využívání odpadů spolu se současným systémem nakládání s odpady v ČR a vytváří potenciál pro výstavbu nových zařízení EVO.

Současným Evropským trendem je výstavba zařízení energeticky využívajících odpad o roční zpracovatelské kapacitě v oblasti okolo 200 kt. Posuzováním vhodných kapacit a průzkumem trhu v této oblasti se zabývá práce [5]. S ohledem na potřebu ekonomicky kladného provozu podobných zařízení je důležité budovat zařízení o zpracovatelské kapacitě přiměřené poptávce po teple v dané lokalitě. V souvislosti s tímto faktem a zpřísňujícími

² Směsný komunální odpad

se požadavky EU na zpracování odpadu je vhodné zamýšlet se nad potenciálem zařízení o nižších kapacitách. V těchto případech bylo obecně prohlašováno, že jsou z ekonomických důvodů nevhodné, a to především kvůli očekávaným vysokým měrným investičním nákladům na tunu zpracovaného odpadu.

Očekávané měrné investiční náklady, které jsou odborně odhadnuty v práci [6], vykazují při určitých kapacitách snížení. Průběh celkových měrných nákladů v závislosti na kapacitě jednotky EVO je zobrazen v grafické závislosti, viz obr. 2.2 [6]. Lokální minimum nákladů pro jednotky s menší až střední kapacitou odpadu je dáno specifickou technologií („šitou na míru“ „tailor-made“), která je odlišná od technologie pro vyšší kapacity. Technologie šité na míru volí pouze takové operační celky, které si vyžaduje dané zařízení a často kombinuje více technologických operací [5], [7].



Obr. 2.2 – Závislost měrných celkových nákladů na kapacitě EVO pro různé měrné náklady na dopravu [6].

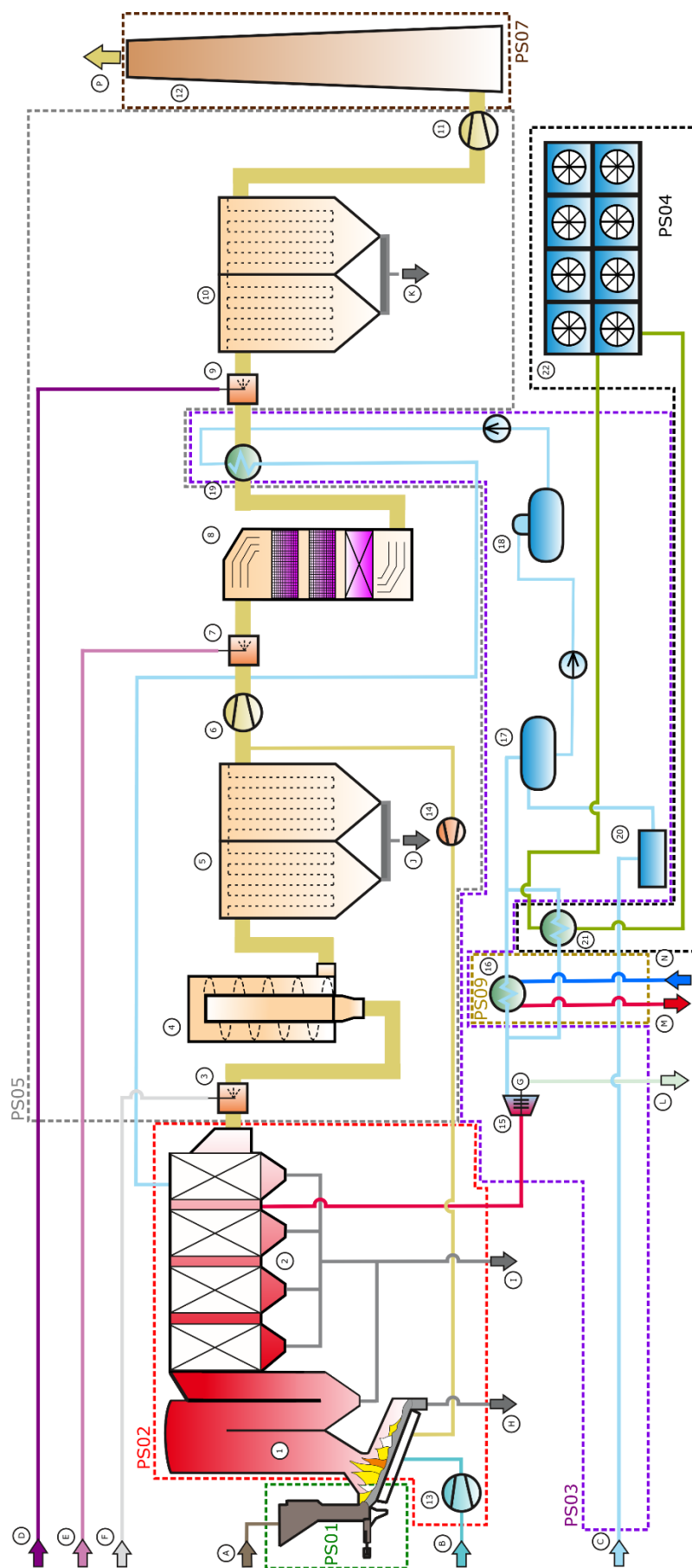
Ukazuje se [8], že v řadě případů lze efektivně zařadit zařízení EVO do regionální soustavy zásobování komunální sféry energiemi. Pro ekonomický provoz je nezbytné vyvážit zpracovatelskou kapacitu s požadavky regionu na dodávku tepelné energie. Z hlediska účinnosti je výhodné vyrábět elektrickou energii pouze pro vlastní účely a majoritně exportovat teplo [9]. Zároveň je vhodné podotknout, že zatímco dodávky tepla závisí na poptávce komunální sféry a výrazně se mění s časem, dodávky elektřiny závisí na smluvním závazku a mění se v rámci dnů dle odhadu provozovatele zařízení EVO. Tento fakt má však silný vliv pouze na provozní parametry, a nikoliv na obecný princip funkce zařízení [10], [11].

Princip funkce zařízení EVO je podobný případu klasické spalovny odpadu, pouze rozšířený o blok utilizace tepelné energie [12]. Větší rozdíly v technickém řešení je možné nalézt zejména u technologie čištění spalin [5], [13]. Zařízení EVO, které je řešeno v rámci práce, je zobrazeno na obr. 2.3 a sestává se z níže uvedených provozních souborů:

- PS³ 01 – Příprava a dávkování odpadu,
- PS 02 – Spalovací zařízení a utilizace tepla,
- PS 03 – Paro-vodní hospodářství,
- PS 04 – Chladicí okruh,
- PS 05 – Čištění spalin,
- PS 06 – Pomocné provozy,
- PS 07 – AMS + komín,
- PS 08 – Kompresorovna,
- PS 09 – Výměňíková stanice CZT.

Jednotlivé PS jsou vyznačeny ve zjednodušeném schématu, viz obr. 2.3, detailní zobrazení viz příloha 1.

³ Provozní soubor

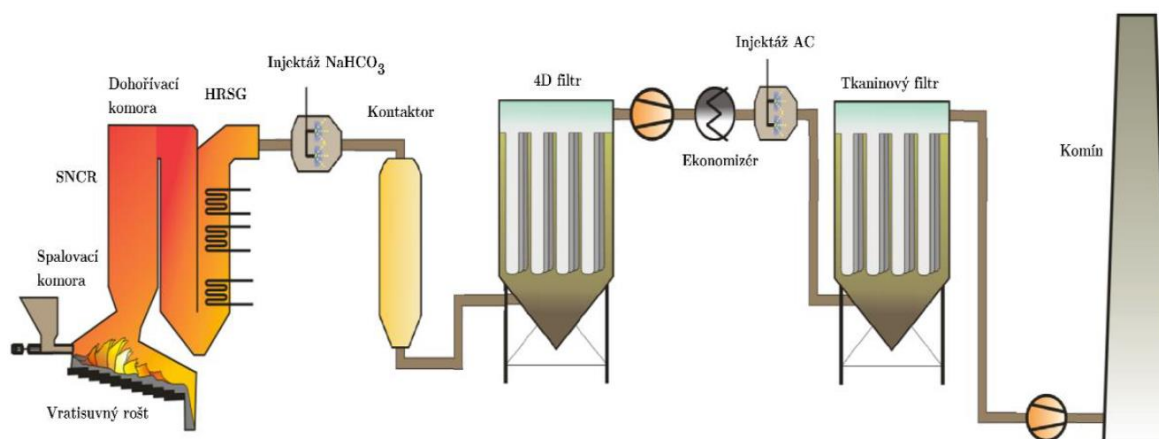


Obr. 2.3 – Zjednodušené schéma řešeného zařízení EVO s vyznačením hlavních provozních souborů, viz příloha 1.

Vhodné řešení konstrukce si vyžaduje provést první konstrukční návrh a ten dále modifikovat a upravovat. Cílem je dosažení ekonomicky výhodného návrhu, který splňuje veškeré technologické a legislativní požadavky. V průběhu konstrukčního návrhu jsou nejdříve navrženy jednotlivé technologické celky, které jsou následně rozmístěny po uvažované stavební parcele. Technologické celky jsou rozděleny na jednotlivé hlavní aparáty, pro které je proveden rozměrový a konstrukční návrh dle požadavků ze zadaných bilančních údajů. Princip postupu při návrhu lze připodobnit iterativnímu výpočtu. Nejprve je proveden počáteční inženýrský odhad vhodného provedení a ten je dále iterativně upřesňován a měněn podle požadavků norem, inženýrských zvyklostí, doporučení a mnohdy především s uvažováním praktického hlediska konstrukce. Těmito hledisky jsou například přístupnost, snadná obsluha, bezpečnost apod. Tzn. je třeba počítat s řešením šitým na míru s řadou omezení, což vyžaduje tvůrčí přístup a součinnost v rámci celého týmu.

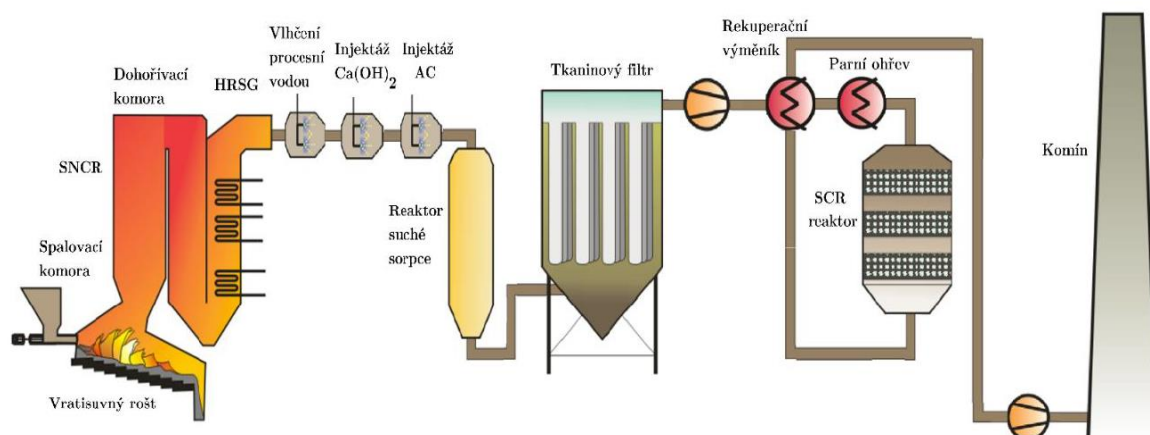
Citlivou stránkou každého zařízení EVO je úroveň vyčištění výstupních proudů, zejména spalin [14]. Vyčištění spalin je řízeno platnou legislativou, která definuje emisní limity při spalování odpadů. Termické využití odpadů zároveň podléhá přísnějším limitům než používání jiných paliv např. biomasy či uhlí dle [5] a [15]. Přísnější emisní limity se projevují především na finanční náročnosti zařízení, a to jak z hlediska investičních, tak i provozních nákladů. Vyšší úroveň vyčištění spalin souvisí také s rozsáhlejší technologií, která vyžaduje větší zástavbový prostor, což může znamenat značný problém zejména z hlediska urbanistického řešení.

V současné době je standardem provádět kombinované mechanické a chemické čištění spalin jehož účelem je odstranění nežádoucích složek primárně obsažených v produktech spalování odpadů. Jedná se o odprášení proudu spalin, odstranění kyselých polutantů (zejména SO_2 , SO_3 , HCl , HF , HBr), oxidů dusíku, nežádoucích látek uhlovodíkové povahy (uhlovodíky a persistentní polutanty) a emisí těžkých kovů. Těchto cílů lze dosáhnout kombinací řady technologických operací [16] umožňujících návrh několika variant systému čištění spalin, viz obr. 2.4, obr. 2.5 a obr. 2.6.



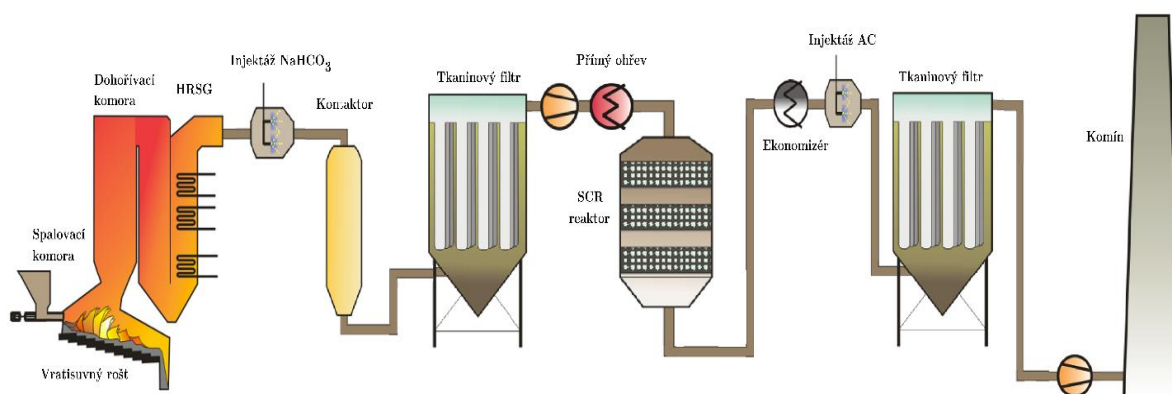
SNCR – Selektivní nekatalytická redukce oxidů dusíku; HRSG – kotel na využití odpadního tepla;
4D filtr – systém odstranění TZL, PCDD/F, NO_x a SO_x

Obr. 2.4 – Příklad sestavení alternativních systémů čištění spalin [17]



SNCR – Selektivní nekatalytická redukce oxidů dusíku; HRSG – kotel na využití odpadního tepla; 4D filtr – systém odstranění TZL, PCDD/F, NO_x a SO_x; AC – aktivní uhlí

Obr. 2.5 - Příklad sestavení alternativních systémů čištění spalin [17]



SCR – Selektivní katalytická redukce oxidů dusíku; HRSG – kotel na využití odpadního tepla; 4D filtr – systém odstranění TZL, PCDD/F, NO_x a SO_x; AC – aktivní uhlí

Obr. 2.6 - Příklad sestavení alternativních systémů čištění spalin [17]

Legislativní ustanovení, která jsou směrodatná při návrhu zařízení EVO, jsou diskutována v následujících kapitolách.

2.1 Stávající legislativa ČR

Hlavní legislativní ustanovení, která se dotýkají záměru práce, jsou:

- zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů,
- zákon č. 229/2014 Sb. o odpadech a o změně některých dalších předpisů, ve znění pozdějších předpisů,
- zákon č. 294/2005 Sb. o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady,
- vyhláška č. 415/2012 Sb. o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší,

- zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší,
- zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií.

Jednotný legislativní rámec pro nakládání s odpady [15] je logickým vyústěním směrnic Evropské Unie, konkrétně směrnice 2000/76/ES. Legislativa pro provoz a emise ze spaloven odpadu a zařízení pro energetické využívání odpadu je od roku 2002 harmonizována s legislativou EU. Tento zákon je dále novelizován předpisem [18], který stanovuje jen několik úprav. Závažnou novelizací je legislativní zákaz skládkování směsného komunálního odpadu, recyklovatelných a využitelných odpadů stanovených prováděcím předpisem.

Dle zákona [15] je odpad každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit. Pro potřeby této práce jsou dále vymezeny tyto pojmy:

- a) *nebezpečný odpad (NO)* – odpad vykazující jednu nebo více nebezpečných vlastností uvedených v příloze zákona [15],
- b) *komunální odpad (KO)* – veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob, a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických nebo fyzických osob oprávněných k podnikání [15]. KO je tvořen ze tří hlavních částí: složky odděleného sběru (papír, lepenka, plasty, kovy), odpady ze zahrad a parků (biologicky rozložitelný odpad (BRKO), zemina atd.) a ostatní komunální odpady – směsný komunální odpad (SKO) a objemný odpad (OO) [18],
- c) *směsný komunální odpad (SKO)* – odpad vznikající v domácnostech a podnicích, které nemají výrobní proces [19],
- d) *objemný odpad (OO)* – odpad z domácností, který není možné kvůli rozměrům či hmotnosti ukládat do sběrných nádob. Jedná se především o nábytek, obalový materiál, krytiny atd. [19].

Zákon [15] dále stanovuje hierarchii nakládání s odpady, viz obr. 2.7. Zákon umožňuje odchýlení od hierarchie v případě, kdy se na základě posuzování životního cyklu⁴ a celkových dopadů prokáže, že je to vhodné.

⁴ Životní cyklus zahrnuje vznik odpadu a nakládání s ním



Obr. 2.7 – Hierarchie nakládání s odpady [5]

Do složení odpadu pro potenciální energetické využití se mohou promítat ustanovení vyhlášky [19], které stanovují snížení skládkovaného BRKO na 50 % vzhledem k množství skládkovanému v roce 1995. Změna složení odpadu se může projevit zejména odlišným podílem nespalitelné části, změnou vlhkosti a s tím související výhřevností odpadu.

Zákon [15] dále ustanovuje, že odpady lze spalovat, pouze jsou-li splněny podmínky stanovené předpisy o ochraně ovzduší [20], [21] a o hospodaření energií [22]. Spalování odpadu ve spalovně komunálních odpadů, která dosahuje vysokého stupně energetické účinnosti (*platí pro zařízení EVO*), se považuje za využívání odpadů způsobem uvedeným pod kódem R1 v příloze zákona [15]. Přesné znění kódu R1 je využití odpadu způsobem obdobným jako paliva nebo jiným způsobem k výrobě energie.

V příloze č. 12 zákona o odpadech je uveden výpočtový vztah pro výpočet energetické účinnosti, která musí přesahovat hodnotu 0,65, aby byla splněna kritéria pro zpracování odpadu pod kódem R1 [15]:

$$R_1 = \frac{E_p - (E_f + E_i)}{0,97 \cdot (E_w + E_f)} \quad (2.1)$$

kde R_1 je energetická účinnost [-],

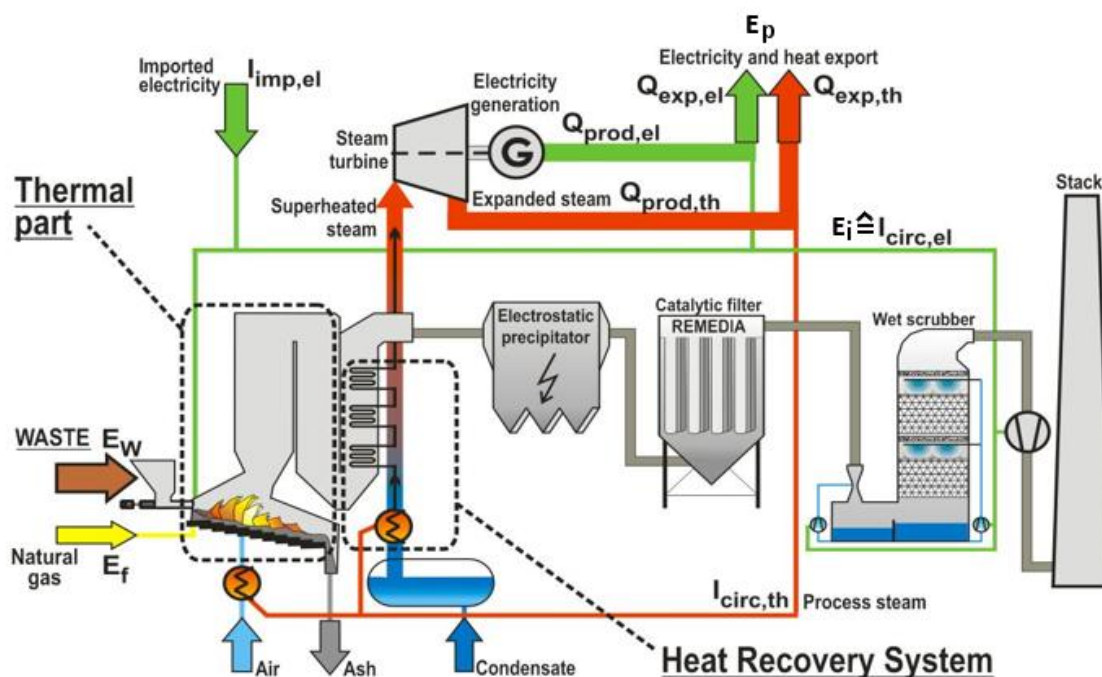
E_p je roční množství vyrobené energie ve formě tepla nebo elektřiny [GJ·rok⁻¹],

E_f je roční energetický vstup z paliv přispívajících k výrobě páry [GJ·rok⁻¹],

E_i je roční dodaná energie bez E_w a E_f [GJ·rok⁻¹],

E_w je roční množství energie obsažené ve zpracovávaných odpadech vypočítané za použití nižší čisté výhřevnosti odpadů [GJ·rok⁻¹].

Fyzikální význam jednotlivých veličin uvedených v rovnici (2.1) je zřejmý ze schématu na obr. 2.8.



$I_{imp,el}$ – importovaná elektřina; $Q_{prod,el}$ – produkovaná elektřina; $Q_{exp,el}$ – exportovaná elektřina;
 $I_{circ,el}$ – cirkulovaná elektřina; E_i – roční dodané energie bez E_w a E_p ; $Q_{prod,th}$ – produkované teplo;
 $Q_{exp,th}$ – exportované teplo; $I_{circ,th}$ – cirkulované teplo; E_w – energie obsažená v odpadech; E_f –
 energie vstupující do procesu, přispívající k tvorbě páry

Obr. 2.8 – Zjednodušené schéma zařízení pro energetické využití odpadu s procesy a energetickými proudy

Množství vyrobené energie ve formě tepla nebo elektřiny se určí [15]:

$$E_p = 2,6 \cdot E_e + 1,1 \cdot E_t \quad (2.2)$$

kde E_p je vyrobená energie ve formě tepla nebo elektřiny [GJ·rok⁻¹],
 E_e je roční množství vyrobené elektrické energie [GJ·rok⁻¹],
 E_t je roční množství vyrobené tepelné energie [GJ·rok⁻¹].

Konstanty 2,6 a 1,1 uvedené v rovnici (2.2) zohledňují rozdílný původ a formu energetických zdrojů tak, aby byla určena ekvivalentní jednotka z hlediska spotřeby primárních zdrojů [23]. Tyto konstanty jsou převrácenými hodnotami účinností referenčních zdrojů pro podmínky ČR dle metodiky BREF⁵ [23], [24].

Součástí zákona o odpadech jsou povinnosti spojené s nakládáním s odpady. Pro konstrukci zařízení EVO je předně důležitá povinnost zabezpečit odpady před nežádoucím znehodnocením, odcizením nebo únikem, povinnost ověřovat nebezpečné vlastnosti odpadů a nakládat s nimi dle jejich skutečných vlastností [15].

Jak je uvedeno výše, zařízení EVO musí při svém provozu rovněž splňovat požadavky uvedené v zákonu o ochraně ovzduší v části páté hovořící o tepelném zpracování odpadu. Zákon konkrétně hovoří o této problematice jako o podmínkách provozu pro stacionární zdroje tepelně zpracovávající odpad [20].

⁵ Reference Document on Best Available Techniques – referenční dokumenty o nejlepších dostupných technologiích [24]

Emisní limity pro spalovny odpadu jsou vztaženy k celkové jmenovité kapacitě, na normální stavové podmínky⁶ a suchý plyn při referenčním obsahu kyslíku v odpadním plynu 11 %.

Znečišťující látka	Emisní limit [$\text{mg} \cdot \text{m}_N^{-3}$]		
	Denní průměr	Půlhodinové průměry	
		97 % ⁷	100 %
TZL⁹	10	10	30
NO_x	200	200	400
SO₂	50	50	200
TOC¹⁰	10	10	20
HCl	10	10	60
HF	1	2	4
CO¹¹	50	100 ¹²	
			150 ¹²

Tab. 1 – Emisní limity pro znečišťující látky zjišťované primárně kontinuálním měřením [20]

V případě poruchy nesmí být překročeny specifické emisní limity pro TOC a CO stanovené podle tabulky výše a koncentrace TZL 150 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$, vyjádřené jako průměrné půlhodinové hodnoty.

Pro stanovení hodnot emisí ve spalinách je zapotřebí přepočítat naměřené hodnoty na referenční obsah kyslíku a také na normální fyzikální podmínky pomocí stavové rovnice. Přepočet koncentrace emisí při normálních fyzikálních podmínkách na referenční obsah kyslíku se provádí pomocí:

$$C_{ref,A}[\text{mg} \cdot \text{m}_N^{-3}] = C_{real,A}[\text{mg} \cdot \text{m}_N^{-3}] \frac{21 \% - C_{ref,O_2} [\%]}{21 \% - C_{real,O_2} [\%]} \quad (2.3)$$

kde $C_{ref,A}$ koncentrace látky A přepočtená na referenční kyslík [$\text{mg} \cdot \text{m}_N^{-3}$],

$C_{real,A}$ koncentrace látky A naměřená [$\text{mg} \cdot \text{m}_N^{-3}$],
 C_{ref,O_2} referenční koncentrace kyslíku (11 %) [%],
 C_{real,O_2} skutečná koncentrace kyslíku ve spalinách [%].

⁶ Normální fyzikální podmínky – tlak 101 325 Pa a teplota 0 °C

⁷ Tyto limity nesmí být překročeny v 97 % měření v daném kalendářním roce

⁸ 95 % 10minutových průměrných hodnot nebo všechny půlhodinové průměrné hodnoty CO za 24 hod u zdrojů, kde teplota plynu při spalování dosahuje nejméně 1100 °C po alespoň 2 vteřiny, nepřekročí emisní limit

⁹ Tuhé znečišťující látky (popílek)

¹⁰ Celkový organický uhlík

¹¹ 97 % všech denních průměrných hodnot nepřekročí povolenou hodnotu

¹² Pro spalovny odpadu s fluidním ložem může příslušný orgán povolit výjimky z emisních limitů pro CO, pokud v povolení provozu současně stanoví emisní limit vyjádřený jako průměrná hodinová hodnota nejvýše 100 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$

Znečišťující látky	Emisní limit
Cd+Tl a jejich sloučeniny	0,05 mg·m ⁻³
Hg a její sloučeniny	0,05 mg·m ⁻³
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V a jejich sloučeniny	0,5 mg·m ⁻³
PCDD/F ¹³	0,1 ng TEQ·m ⁻³ ¹⁴

Tab. 2 – Emisní limity pro znečišťující látky zjišťované primárně jednorázovým měřením [20]

Zákon o ochraně ovzduší dále stanovuje technické podmínky provozu. V zásobníku odpadu stacionárních zdrojů tepelně zpracovávajících odpad je trvale udržován podtlak a odsávaný vzduch je přiváděn do spalovacího prostoru. Pokud neprobíhá spalování, vzduch odsávaný ze zásobníku odpadu se odvádí do výduchu schváleného v rámci povolení provozu [20].

Konstrukce a provoz zařízení musí dle ustanovení [20] zaručovat:

- a) dostatečnou dobu setrvání tepelně zpracovávaného odpadu v prostoru, kde dochází k tepelnému zpracování, pro dokonalé vyhoření nebo tepelný rozklad tak, aby struska a popel (*tuhé zbytky po spalování*) obsahovaly méně než 3 % TOC, nebo aby ztráta žíháním byla menší než 5 % hmotnosti suchého materiálu,
- b) odpadní plyn je za posledním přívodem spalovacího vzduchu řízeným způsobem zahřát ve všech místech profilu toku odpadního plynu, a to i za nejméně příznivých podmínek na teplotu nejméně 850 °C po dobu nejméně dvou sekund. Pokud se spaluje odpad s obsahem organických sloučenin chloru (*vyjádřených jako chlór*) vyšším než 1 % hm., musí tato teplota dosáhnout nejméně 1 100 °C po dobu alespoň dvou sekund,
- c) dohořivací část EVO musí být vybavena nejméně jedním hořákem, který nesmí spalovat palivo, jehož spálením by vznikly emise vyšší než ze spalování plynového oleje, zkapalněného plynu nebo zemního plynu, a který je uveden automaticky do provozu při těchto případech:
 - I. během uvádění stacionárního zdroje tepelně zpracovávajícího odpad do provozu a jeho odstavování s cílem zajistit, že stanovená teplota bude v prostoru, v němž dochází k tepelnému zpracování odpadu, udržena po celou tuto dobu, dokud je v prostoru, kde dochází k tepelnému zpracování odpadu, nějaký nespálený odpad,
 - II. pokud teplota odpadního plynu po posledním vstřiku spalovacího vzduchu poklesne pod stanovenou teplotu 850 °C nebo 1 100 °C podle charakteru tepelně zpracovávaného odpadu,
 - III. pokud kontinuální měření emisí prokáže překročení některého ze specifických emisních limitů,

¹³ PCDD/F – polychlorované dibenzo-p-dioxiny a polychlorované dibenzofurany

¹⁴ TEQ – ekvivalent toxicity vztažený na 2,3,7,8-tetrachlordibenzo-p-dioxin (TCDD)

- d) při uvádění stacionárního zdroje do provozu a při jeho odstavování, v případě poklesu teploty pod stanovenou minimální mez nebo v případě překročení některého ze specifických emisních limitů bude automaticky zabráněno přívodu odpadu do prostoru, kde dochází k tepelnému zpracování odpadu přímou oxidací.

Odpady ze zdravotnické a veterinární péče, na jejichž sběr a odstraňování jsou kladeny zvláštní požadavky, se dávají přímo bez toho, aby byly nejdříve smíšeny s jinými druhy odpadu nebo s nimi bylo jinak manipulováno [20].

Nejméně jednou při prvním uvádění stacionárního zdroje (*v němž je povoleno tepelné zpracování odpadu*) do provozu a za předpokládaných nejméně příznivých provozních podmínek se ověří doba setrvání odpadního plynu při stanovené nejnižší teplotě za posledním přívodem spalovacího vzduchu. Současně se zjišťuje obsah kyslíku v odpadním plynu [20].

Poslední právní úpravou zákona o ochraně ovzduší je vyhláška č. 406/2015 Sb., která však nenovelizuje části zákona vztahující se na spalování či termické využití odpadu.

2.2 Stávající legislativa EU

Hlavním ustanovením EU v souvislosti se spalováním a spolu-spalováním odpadů je směrnice 2000/76/ES o spalování odpadu [25] a směrnice 2008/98/EC o odpadech [26].

Směrnice stanovuje, že teplo vznikající při procesech spalování nebo spolu-spalování se dle možností využije pro dodávky tepla nebo elektřiny. Množství vznikajících zbytků a škodlivost musí být minimalizována, přičemž zbytky se dle vhodnosti recyklují [25].

2.2.1 Dodávání a příjem odpadu

V článku 5, který hovoří o dodávání a příjmu odpadu, se v souvislosti s konstrukcí ustanovuje [25]:

- a) při dodávání a přijímání odpadu musí být provedena opatření nutná k předcházení nebo k omezení negativních účinků na životní prostředí, zejména znečišťování ovzduší, půdy a vod povrchových i podzemních, obtěžování zápachem a hlukem a přímých ohrožení lidského zdraví,
- b) před přijetím odpadu do spalovacího nebo spolu-spalovacího zařízení se stanoví hmotnost každé kategorie odpadu, v případě možnosti dle Evropského katalogu odpadů,
- c) před přijetím nebezpečného odpadu musí mít provozovatel dostupné informace o odpadu pro účely ověření vhodnosti pro použitý systém spalování. Jedná se o fyzikální a dle možnosti chemické složení odpadu, nebezpečné vlastnosti odpadu, látky, které s ním nesmí být míseny a preventivní opatření nutná při manipulaci s daným odpadem.

2.2.2 Provozní podmínky

Provozní podmínky zařízení pro spalování odpadu jsou uvedeny v článku 6 a v podstatě uvádějí totožné informace uvedené v kapitole 2.1. Směrnice [25] navíc stanovuje:

- a) zařízení je projektováno, vybaveno, postaveno a provozováno takovým způsobem, že budou vyloučeny emise do ovzduší, které způsobují významné znečištění přízemních vrstev ovzduší. Zejména odpadní plyny jsou vypouštěny řízeným způsobem a v souladu s relevantními emisními limity Společenství prostřednictvím výšky komína, která musí být vypočtena tak, aby bylo chráněno lidské zdraví a životní prostředí,
- b) s infekčním nemocničním odpadem nesmí být manipulováno přímo.

2.2.3 Limitní hodnoty emisí do ovzduší

Podmínky a hodnoty emisí, které jsou stanoveny ve směrnici [25], jsou totožné s hodnotami uvedenými v kapitole 2.1.

2.2.4 Vypouštění odpadní vody ze zařízení na čištění odpadních plynů

Vypouštění odpadních vod, které vznikají čištěním odpadních plynů do vodního prostředí, musí být omezeno na možné minimum, ale přinejmenším v souladu s limitními hodnotami emisí:

Znečišťující látka	Limitní hodnota emisí vyjádřená hmotnostní koncentrací nefiltrovaných vzorků $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	
	95 % $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$	100 % $45 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$
Celkové suspendované tuhé látky definované směrnicí 91/127/EHS		
<i>Hg a její sloučeniny, vyjádřené jako Hg</i>		0,03
<i>Cd a jeho sloučeniny, vyjádřené jako Cd</i>		0,05
<i>Tl a jeho sloučeniny, vyjádřené jako Tl</i>		0,05
<i>As a jeho sloučeniny, vyjádřené jako As</i>		0,15
<i>Pb a jeho sloučeniny, vyjádřené jako Pb</i>		0,2
<i>Cr a jeho sloučeniny, vyjádřené jako Cr</i>		0,5
<i>Cu a její sloučeniny, vyjádřené jako Cu</i>		0,5
<i>Ni a jeho sloučeniny, vyjádřené jako Ni</i>		0,5
<i>Zn a jeho sloučeniny, vyjádřené jako Zn</i>		1,5
<i>Dioxiny a furany definované jako součet jednotlivých dioxinů a furanů, vyhodnocený v souladu s přílohou I. směrnice 2000/76/ES</i>		0,3

Tab. 3 – Limitní hodnoty emisí pro vypouštění odpadních vod z procesů čištění odpadních plynů (spalín) [25]

V případech, kdy jsou odpadní vody čištěny v místě svého vzniku společně s odpadními vodami z jiných zdrojů situovaných v témže místě, musí provozovatel uskutečnit měření dle článku 11 směrnice [25], a sice:

- v proudu odpadních vod z procesů čištění odpadních plynů před jeho vstupem do čističky odpadních vod,
- v proudech ostatních odpadních vod na jejich vstupu do čističky odpadních vod,
- v bodě výstupu konečného proudu přečištěných odpadních vod.

V žádném případě nesmí být splnění limitních hodnot emisí dosaženo ředěním. Místní prostory spalovacího zařízení, včetně souvisejících skladovacích prostor pro nebezpečné odpady, musí být projektována a provozována tak, aby v souladu s legislativou Společenství bylo předcházeno nepovolenému nebo náhodnému úniku jakýchkoli znečišťujících látek do půd a do povrchových i podzemních vod. Současně musí být zajištěna dostatečná skladovací kapacita pro zachycení odtoků kontaminovaných srážkových vod z prostor spalovacího prostoru nebo kontaminovaných vod v důsledku neúmyslných rozlití kapalin nebo vod z hasicích operací [25].

2.2.5 Zbytky ze spalování a zpracování odpadů

Přeprava a přechodné uskladnění suchých zbytků ve formě prachu musí být uskutečňováno způsobem zajišťujícím vyloučení jejich rozptylování do prostředí [25]. Dovolené hodnoty spojené se zbytky ze spalování jsou uvedeny v 2.1.

2.2.6 BAT

Referenční dokumenty o BAT¹⁵, které ustanovují současnou nejlepší dostupnou technologii, jsou definovány ve směrnici 2010/75/EU. Definovány jsou jako nejúčinnější a nejpokročilejší stadium vývoje činností a jejich provozních metod dokládající praktickou vhodnost určité techniky jako základu pro stanovení mezních hodnot emisí a dalších podmínek povolení, jejichž smyslem je předejít vzniku emisí nebo pokud to není proveditelné tyto emise omezit, a zabránit tak nepříznivým dopadům na životní prostředí jako celek [27]. Jedná se o dokument, který je výsledkem výměny informací a je vypracován pro určené činnosti a popisuje zejména použité techniky, současné úrovně emisí a spotřeby používaných zařízení, zvažované postupy pro určení nejlepších dostupných technik a závěry o BAT [27], [28], [24].

Výměna informací se týká [27]:

- a) *výkonnosti zařízení a technik z hlediska emisí vyjádřených případně jako krátkodobé a dlouhodobé průměry, referenční podmínky, spotřeby a povahy surovin, spotřeby vody, využívání energie a vznik odpadů,*
- b) *používaných technik, souvisejícího monitorování, mezisložkových¹⁶ vlivů, ekonomické a technické přijatelnosti a rozvoje v těchto oblastech.*

Rozsahově se referenční dokumenty o BAT zabývají [29]:

- 1) *běžným čištěním odpadních vod a plynů,*
- 2) *ekonomií a mezisložkovými vlivy,*
- 3) *emisemi ze skladování,*
- 4) *energetickou účinností,*
- 5) *nakládáním s těžebním odpadem,*
- 6) *obecnými principy monitorování,*
- 7) *průmyslovými chladicími soustavami.*

¹⁵ Best available Technology (Nejlepší dostupná technologie)

¹⁶ Popis souvislostí mezi ekonomickými aspekty BAT a životním prostředím jako celkem

Vývoj technologií je značně dynamický a úpravy BAT procházejí poměrně zdoluhavým procesem projednávání. Z tohoto důvodu BAT nestačí zohledňovat nové technologie v reálném čase.

2.3 Budoucí legislativa

Na základě platného harmonogramu, uvedeného v zákonu [19], je stanoveno do roku 2020 snížit podíl skládkovaného BRKO na 35 % vzhledem k množství skládkovanému v roce 1995. Významný vliv na odpadovou politiku má zákon [18], který ustanovuje zákaz skládkování SKO a recyklovatelných a využitelných odpadů stanovených prováděcím předpisem od roku 2024. Uvedené změny pravděpodobně ovlivní složení odpadu, který je v zařízení EVO zpracováván. Tyto změny souvisí se změnou výhřevnosti a s podílem nespalitelné části, což může v nemalé míře ovlivnit ekonomiku provozu.

V problematice čištění spalin lze očekávat především zpřísnění emisních limitů pro všechny výstupní proudy zařízení EVO. Podkladem pro úpravy těchto limitů stejně jako strojního vybavení a technologických postupů je BAT [30]. Zpřísnění emisních limitů pro exhalace ze spaloven odpadů lze očekávat zejména pro emise oxidů dusíku z velkých energetických zdrojů, kde má být po vzoru Německa všeobecně zaveden limit $100 \text{ mg NO}_2 \cdot \text{m}_\text{N}^{-3}$.¹⁷

Navrhovanou technologii a konstrukční řešení zařízení EVO je nutné přizpůsobit výše uvedeným požadavkům. V realitě to znamená vytvořit přípravu pro budoucí rozšíření čištění spalin nebo připravit dostatečnou kapacitu pro požadavky vyšší, než vyžaduje v současné době platná legislativa [31]. V opačném případě hrozí v budoucnu nesplnění legislativních požadavků na provoz a zákaz činnosti zařízení. V tomto smyslu se nestačí striktně spoléhat na BAT, ale je nutno předvídat budoucí vývoj.

¹⁷ Tento předpoklad byl vznesen při veřejném prohlášení Dr. Ing. Aleše Bláhy, ředitele ZEVO Praha, k datu 22. 2. 2007.

3 ANALÝZA CELKOVÉ SITUACE

V prvotní fázi je zapotřebí definovat podmínky, pro které je zařízení EVO navrhováno. V rámci výzkumných aktivit strategického projektu centra kompetence (*projekt WtE Competence Centre, TAČR TE02000236*) byl v součinnosti s hlavním řešitelským pracovištěm ÚPI FSI VUT v Brně definován modelový region a po konzultaci s pracovníky spoluřešitele, společnosti EVECO Brno s.r.o., byly specifikovány vstupní údaje pro návrh zařízení a dle běžné praxe stanovena požadovaná životnost zařízení EVO.

3.1 Výběr vhodné lokality – systém NERUDA

Výběr vhodné lokality pro budování zařízení EVO je složitým procesem, při kterém je nezbytné zvážit mnoho alternativ a uvažovat mnoho faktorů, které ovlivňují ekonomickou sílu projektu [32]. Jedním ze způsobů, jak tuto problematiku řešit, je matematické modelování nakládání s odpadem prostřednictvím výpočtového nástroje NERUDA (*vyvinuto na pracovišti ÚPI FSI VUT v Brně*) [8].

Systém NERUDA řeší níže uvedené problémy [8]:

- a) *návrh vhodné lokality pro výstavbu zařízení EVO a jeho optimální kapacitu,*
- b) *popis toku odpadu v rámci sledovaného území,*
- c) *návrh logistického řetězce,*
- d) *hodnocení atraktivity záměrů, tedy dostupnost odpadu a očekávané ceny za zpracování,*
- e) *podpora zavádění legislativních opatření.*

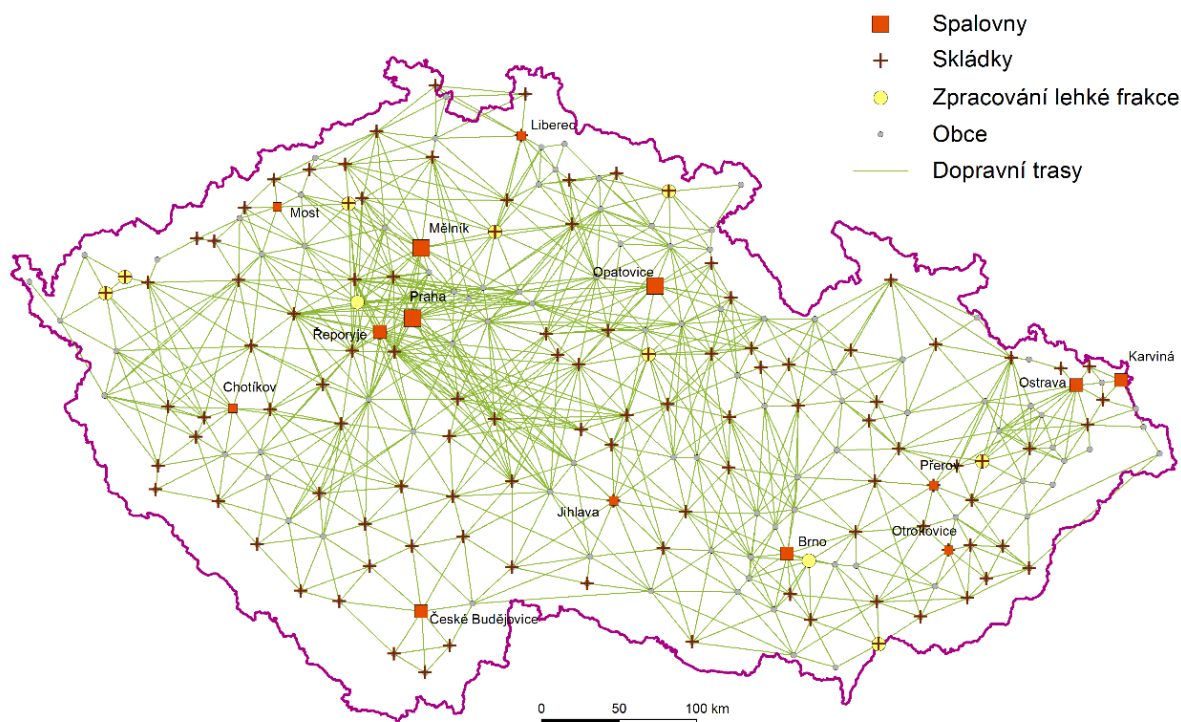
Pro potřeby výpočtu systém NERUDA vyžaduje tato data [8]:

- 1) *popis dopravní infrastruktury (silnice a železnice) mezi jednotlivými uzly a vzdálenosti dopravních úseků,*
- 2) *informace o existujících skládkách a kategorie obecných odpadů,*
- 3) *existující zařízení EVO (ZEVO¹⁸ Malešice, TERMIZO Liberec, SAKO Brno, ZEVO Chotíkov), připravované projekty (EVO Most – Komořany) a možné další lokality pro výstavbu zařízení EVO a jejich kapacitní řešení ev. další studie,*
- 4) *informace o připravovaných zařízeních MBÚ¹⁹ a zařízeních pro energetické využití lehké frakce,*
- 5) *existující zařízení EVO v zahraničí, které by mohly energeticky využít SKO z ČR,*
- 6) *statistické informace a výhledy o počtu obyvatel, měrné produkci odpadu, efektivitě systému tříděného sběru, výhřevnosti odpadu atp.,*
- 7) *cenové modely, výhledy a predikce dopravních nákladů na svoz, ceny energií, ceny za zpracování SKO v zahraničí, nastavení zpracovatelských poplatků na bráně zařízení EVO a MBÚ.*

¹⁸ Zařízení energetického využití odpadu

¹⁹ Mechanicko-biologická úprava

Výpočetní systém matematickými metodami optimalizace řeší různé scénáře vývoje situace na řešeném územním celku se zohledněním vlivu okolních států a sestavuje model optimálního rozmístění provozních jednotek a svozových oblastí. Výsledkem kooperace výše uvedených spoluřešitelů výzkumného projektu je mapa vhodných lokalit a příslušných zpracovatelských kapacit pro budování zařízení EVO [8].



Obr. 3.1 – Rozdělení území ČR do uzlů, dopravní infrastruktura modelu a klíčové prvky [8]

Jelikož je cílem této práce stanovit investiční náklady na zařízení střední kapacity, byly na základě výzkumu v rámci centra kompetence (projekt *WtE Competence Centre*²⁰, TAČR TE02000236) zvoleny parametry, které odpovídají kapacitě spadající do této kategorie.

3.2 Vstupní data pro návrh zařízení vyplývající z modelového regionu

Modelový region si lze představit jako územní celek zahrnující významný zdroj SKO, kterým je zpravidla větší město, resp. obce v dané svozové oblasti. Pro potřeby práce se uvažuje produkce odpadu v tomto regionu ve výši plně pokrývající zpracovatelskou kapacitu zařízení, která byla v rámci souvisejících výzkumných projektů pracoviště ÚPI stanovena ve výši 20 kt za rok pro roční fond pracovní doby 8 000 hod.

Větší města jsou obvykle také významným spotřebitelem tepla a elektrické energie, které zařízení EVO produkuje. Zatímco napojení zdroje elektrické energie, v tomto případě parní turbíny s generátorem, je poměrně jednoduchou záležitostí, začlenění zařízení jako zdroje tepla je zpravidla obtížné. Reálně výstavba podobného zařízení vyžaduje vybudování systému CZT²¹, resp. úplnou či částečnou náhradu stávajícího zdroje tepelné energie.

V úvahu je nutné vzít také spotřebu tepla v dané lokalitě, která je výrazně proměnlivá v závislosti na čase. Vysokých hodnot zpravidla dosahuje v zimních měsících,

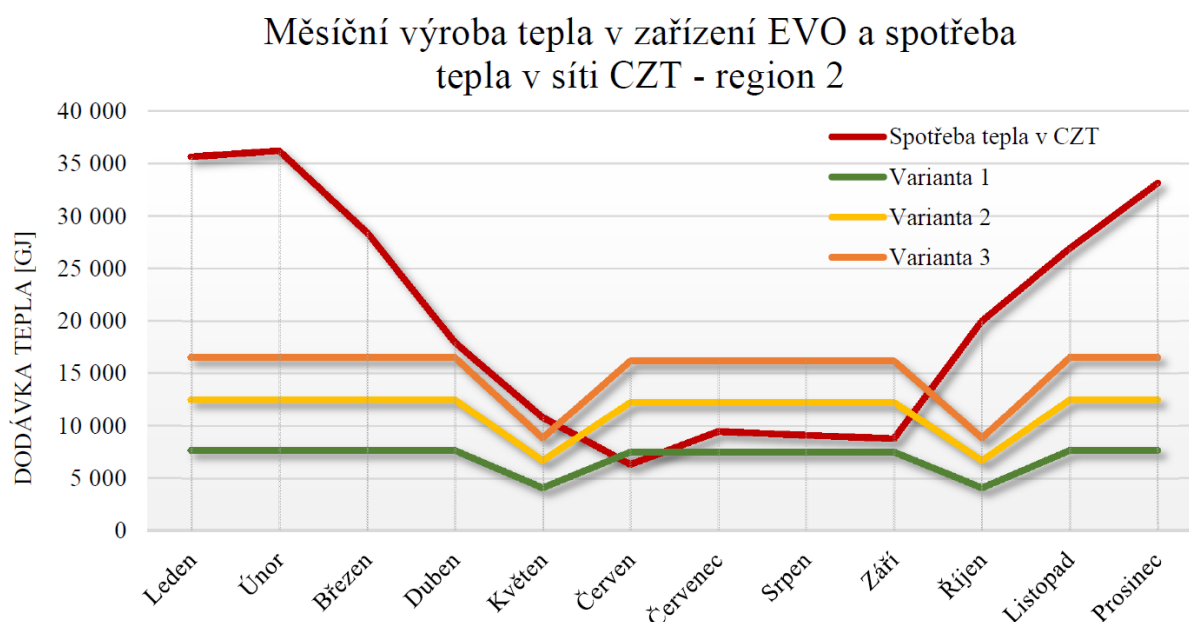
²⁰ Řešitel a spoluřešitelé: Vysoké učení technické v Brně – Fakulta strojního inženýrství; ZVVZ-Enven Engineering, a.s.; PBS INDUSTRY, a.s.; ČEZ, a.s.; EVECO Brno, s.r.o.

²¹ Centrální zásobování teplem

kdy se na spotřebě podílí průmysl i obyvatelstvo. Naopak nízkých hodnot se dosahuje v letních měsících, kdy spotřebu tepla vytváří valnou většinou pouze průmysl. V tomto smyslu je nezbytné pečlivě zvážit provozní režim zařízení, který může být charakterizován např. takto:

- kontinuální produkce tepla odpovídající výši letní spotřeby* – v tomto provozním režimu je spotřebováváno maximum vyráběného tepla a je často dosahováno velmi vhodných ekonomických parametrů,
- kontinuální produkce tepla o kapacitě v rozmezí minimální a maximální spotřeby* – produkované teplo je vyšší než spotřeba v létě, ale nižší než v zimních měsících. Vyráběné teplo tudíž není spotřebováváno 100% a musí být částečně mařeno. Pokud je provedena správná ekonomická analýza, dosahuje se mírně snížené účinnosti ve srovnání s předchozí variantou, avšak za značného zvýšení zpracovatelské kapacity zařízení,
- vykrývání špiček spotřeby* – z ekonomického i technologického hlediska se jedná o výrazně náročnější provozní režim, který ne vždy dosahuje vhodných ekonomických parametrů.

Typický průběh spotřeby tepla je zobrazen v následující grafické závislosti:



Obr. 3.2 – Typický průběh spotřeby tepla se zobrazením příkladů možných provozních režimů [33].

Varianta 1 – bez maření tepla, varianta 2 – maření tepla max. 14,5 GJ/h, varianta 3 – maření tepla max. 24 GJ/h.

Uvažovaným provozním režimem zařízení je kontinuální produkce tepla, kdy je předpokládáno úplné využití tepla napojením na lokální systém CZT prostřednictvím horkovodu.

V úvahu je nutno vzít i předpokládané stavební místo. Terénní úpravy spojené s přípravou místa se mohou velmi různit v závislosti na velkém množství faktorů. Z tohoto důvodu je přistoupeno ke zjednodušení, kdy se uvažuje rovný pozemek, který není rozměrově omezen. Současně není uvažováno zvláštní architektonické řešení, které celkové investiční náklady rovněž výrazně ovlivňuje. Více se této problematice věnuje kap. 5.1.

3.3 Požadovaná životnost zařízení

Obecně činí v současné době běžně požadovaná životnost budovaných zařízení přibližně 20 let²². Z tohoto důvodu je požadovaná životnost technologie ve většině případů zvolena o stejné délce. Situace je odlišná u součástí, které velice rychle degradují. Jedná se zejména o součásti vystavené silné abrazi, creepu a korozním účinkům. Typickým příkladem jsou těsnění, ložiska, hadice atp. Poněkud trvanlivější je například beranový podavač odpadu nebo vyhrabování škváry. V souladu s touto problematikou je nezbytné za dobu životnosti zařízení uvažovat rovněž opravy a reinvestice strojní i stavební části objektu.

Opravy a reinvestice jsou značnou nákladovou položkou, kterou nelze zanedbat. Aktuálním trendem je používání materiálů nižší kvality a čtenější nahrazování součástí za nové. V tomto směru je nezbytné při návrhu vhodně optimalizovat ekonomiku provozu, zvolit optimální výběr materiálů a s tím související počet výměn takto poškozených součástí za celou dobu životnosti zařízení. Detailněji je tato problematika vysvětlena v [6].

²² Životnost energetických zařízení byla diskutována na přednáškách Ing. Dušana Vincoura, Ph.D.

4 ZÁKLADNÍ BILANČNÍ ÚDAJE

Návrh ZEVO vyžaduje z důvodu své složitosti systematický přístup při dimenzování jednotlivých technologických celků a návrhu jejich rozmístění. V rámci návrhu je nejprve sestaveno blokové schéma, které popisuje pátevní systémy zařízení. Jednotlivé systémy jsou detailněji rozpracovány v bilančním schématu, které dle vstupních parametrů stanovuje parametry hlavních zařízení a technologických proudů. Celá technologie je posléze detailně definována ve strojně-technologickém schématu.

4.1 Blokové schéma ZEVO

Základní částí ZEVO jsou provozní soubory PS 01 (*příprava a dávkování odpadu*) a PS 02 (spalovací zařízení a utilizace tepla). Odpad vstupuje do ZEVO blokem příjmu odpadu a je dále tříděn, upravován, skladován a následně spalován. Entalpický obsah produkovaných spalin je využit ke generování páry. V závislosti na provozním režimu je pára využita pro generaci elektrické energie expanzí na parní turbíně a ohřevu vody pro CZT nebo je přivedena do bloku maření tepla. Poměr výroby elektrické energie a tepla pro CZT je možné měnit dle aktuálních potřeb řešeného regionu. Pro regulaci teploty páry je začleněn do technologie zástřik vodou. Celý princip je patrný ze schématu na obr. 4.1 a dále, viz příloha 2.

Generovaná pára v technologii postupně kondenzuje a vzniklý kondenzát se dopravuje do nádrže sběrného kondenzátu, kde je shromažďován. Kondenzát je následně čerpán dopravním čerpadlem do odplynovací části nádrže napájecí vody, kam je současně přiváděna doplňovací voda. Napájecí voda je předeřhávána v ekonomizéru z důvodu využití zbytkového tepla spalin a přiváděna do bloku generace páry. Z bloku generování páry je pro zajištění stabilního a bezpečného provozu odváděn odluh, odkal a odfuk.

Pro zajištění stabilního hoření a najíždění ZEVO jsou ve spalovací části umístěny hořáky na zemní plyn. Hoření je podporováno přiváděním spalovacího vzduchu, který je částečně předeřhíván pro zvýšení energetické účinnosti zařízení.

Čištění spalin, které vystupují z bloku výroby páry, je založeno na suchém chemickém čištění prostřednictvím dávkování alkalického adsorbentu (NaHCO_3). Práškový adsorbent je do spalin dávkován jako jemně mletý z důvodu zvýšení účinnosti neutralizace kyselých látek (HCl , HF , SO_2 apod.). Princip neutralizace je detailněji popsán v [5] a je často komerčně nazýván jako systém DeSOx nebo BICAR²³. Zbytkový adsorbent, popílek a vzniklé soli jsou následně zachyceny filtrací. Určitá část takto vyčištěných spalin je recirkulačním ventilátorem vracena do bloku spalování odpadu. Zbývající množství spalin je vedeno do bloku finálního dočištění katalytickým odstraňováním oxidů dusíku a záchytem persistentních polutantů (POP). Pro návrh systému čištění spalin na úroveň 100 až 150 mg $\text{NO}_2/\text{m}_\text{N}^3$ je považováno za nutné zařadit stupeň selektivní katalytické redukce oxidů dusíku (SCR) účinkem amoniaku nadávkovaného do spalin v potřebném množství ve formě např. čpavkové vody. Tento systém je komerčně nazýván jako DeNOx a je blíže popsán v [5]. Finální dočištění spalin od eventuálně přítomných persistentních organických polutantů a těžkých kovů se uskutečňuje pomocí mletého aktivního uhlí, které je za reaktorem pro DeNOx dávkováno do proudu spalin a následně odloučeno na tkaninovém filtru společně se zbytky jemného popílku. Vyčištěné spaliny jsou za pomoci spalinového ventilátoru dopravovány do komína.

²³ Produkt společnosti SOLVAY.

V rámci podpůrných systémů je do schématu zařazen blok dopravy a skladování škváry ze systému spalování odpadu a současně doprava a skladování popílku a ostatních pevných residuí zachycených pomocí filtrace. Další částí je doprava, skladování a příprava NaHCO_3 , čpavkové vody a aktivního uhlí.



Obr. 4.1 – Blokové schéma řešeného ZEVO (viz příloha 2)

4.2 Bilanční schéma a hlavní parametry ZEVO

Jak již bylo uvedeno v kap. 3.2, je v provozu ZEVO výrazný rozdíl mezi letním a zimním obdobím. Z tohoto důvodu je připraveno bilanční schéma (viz příloha 3) separátně

pro obě období, jednak z důvodu stanovení mařeného tepla a jednak z důvodu stanovení odlišnosti v provozních parametrech všech zařízení – především aparátů pro maření tepla. Pro bilanční výpočet je použit systém W2E²⁴, který byl vyvinut na ÚPI FSI VUT v Brně. Tento systém umožňuje sestavit technologický proces pomocí funkčních bloků a sekvenčně stanovovat hmotnostní a energetické bilance v rámci energetického využití odpadů a biomasy [34]. Princip technologie uvedený v bilančním schématu plně odpovídá blokovému schématu, viz obr. 4.1, a výpočet byl proveden v rámci řešení výzkumného projektu centra kompetence WtECC (viz příloha 3). Detailní výpis bilančních proudů je uveden v souhrnné tabulce, viz příloha 9.

Část spalování je z důvodu systematiky výpočtu v prostředí W2E symbolizována pomocí bloků, které umožňují kvantifikovat důležité procesní toky a operace. Jedná se o tyto bloky:

- a) *spalování odpadu* – kvantifikuje spalování odpadu za přítomnosti primárního vzduchu, tvorbu spalín a škváry. Pomyslně se jedná o spalování v těsné blízkosti přesuvného roštu,
- b) *směšovač recirkulace spalín* – realizuje přívod recirkulovaných spalín,
- c) *směšovač sekundárního vzduchu* – realizuje přívod sekundárního vzduchu, kterým se dosahuje zvoleného přebytku vzduchu,
- d) *stabilizační hořák* – zajišťuje legislativou požadovanou teplotu při zdržné době minimálně 2 sekundy spalováním zemního plynu,
- e) *směšovač spalín stabilizačního hořáku* – symbolizuje promísení všech vzniklých spalín v dohořivací komoře,
- f) *přisávání vzduchu* – pokrývá samovolné přisávání vzduchu vlivem netěsností v konstrukci.

Do části spalování je přiváděn odpad v množství $2\,500\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$, předehříváný primární spalovací vzduch, nepředehříváný sekundární spalovací vzduch a zemní plyn. Z bloku spalování odpadu vystupuje cca $855\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ škváry a spaliny, které dále vstupují do bloku pro využití odpadního tepla k výrobě páry (HRSG)²⁵.

4.2.1 Vodní hospodářství

Vodní hospodářství se sestává z těchto částí:

- a) *HRSG* – kvantifikuje přenos tepla proudících spalín, separaci odluhu a odkalu a výrobu páry,
- b) *rozdělovač odluhu a odkalu* – pomyslně symbolizuje separaci proudů odluhu a odkalu z parního kotle,
- c) *chladič odluhu* – kvantifikuje využití zbytkového tepla odluhu na ohřev doplňovací vody (tzv. „make-up“ vody),
- d) *expandér odkalu* – separuje odfuk páry a odpadní vodu z odkalu,
- e) *směšovač kondenzátu* – zastupuje směšování kondenzátu a čerstvé „make-up“ vody,

²⁴ Waste to Energy – Software pro modelování a simulaci technologických procesů

²⁵ Heat recovery steam generator – parní kotel pro využití odpadního tepla

- f) *barbotážní směšovač* – směšuje napájecí vodu s párou pro zajištění ohřevu vody v případě její nízké teploty [33] a její odplynění [35],
- g) *napájecí čerpadlo* – dopravuje napájecí vodu do HRSG,
- h) *rozdělovač napájecí vody* – umožňuje oddělit část napájecí vody a použít ji jako zástřík pro redukci páry,
- i) *ekonomizér II* – kvantifikuje přehřev napájecí vody využitím zbytkového tepla spalin.

4.2.2 Utilizace tepla

Blok utilizace tepla zahrnuje výrobu páry a parní hospodářství a sestává se z těchto bloků:

- a) *rozdělovač pro přehřev vzduchu LUVO²⁶ II* – odděluje část vyrobené ostré páry pro druhý stupeň přehřevu primárního spalovacího vzduchu,
- b) *rozdělovač pro protitlakou turbínu* – přivádí ostrou páru k protitlaké turbíně či další technologii,
- c) *protitlaká parní turbína* – kvantifikuje expanzi páry na turbíně a vykonanou expanzní práci na hřídeli rotoru,
- d) *rozdělovač pro redukci páry a ohřev vody pro CZT* – umožňuje přivádět ostrou páru k expanzi a zástříku vodou nebo pouze pro ohřev vody v CZT,
- e) *zástřík* – v případě havárie, kdy je nutná rychlá odstávka technologie, nebo je-li nutno zvýšit množství nízkotlaké páry, je pára přiváděna na linii expanze, kde je její entalpie snižována pomocí zástříku vodou,
- f) *směšovač nízkotlaké páry z turbíny a z linie expanze* – provádí směšování nízkotlaké páry z obou částí před dalším využitím,
- g) *výměníky pro okruh ohřevu CZT* – kvantifikuje výměnu kondenzačního tepla mezi nízkotlakou parou a okruhem ohřevu vody pro CZT,
- h) *rozdělovač páry pro maření tepla* – v případě, kdy není možné využít teplo, je odváděna pára do mařičů tepla prostřednictvím tohoto rozdělovače,
- i) *rozdělovač páry pro přehřev vzduchu LUVO I* – odděluje část nízkotlaké páry pro první stupeň přehřevu primárního spalovacího vzduchu,
- j) *rozdělovač páry pro výměník okruhu CZT a barbotáž* – umožňuje oddělení části nízkotlaké páry pro barbotáž napájecí vody,
- k) *rozdělovač páry pro barbotáž* – přivádí část nízkotlaké páry pro barbotáž a odvádí odfuk páry z odplynění.

4.2.3 Okruh ohřevu CZT

Okruh ohřevu CZT slouží k přenosu tepla z parovodního okruhu do systému CZT. Využití jediného výměníku v rámci bilance je řešeno obtokem vody do vstupního proudu výměníku CZT. V bilančním schématu je okruh ohřevu CZT tvořen těmito prvky:

- a) *parovodní výměníky* – kvantifikují výměnu tepla mezi nízkotlakou parou a okruhem,

²⁶ Luftwarmer – komerční název přehříváče vzduchu

- b) *směšovač* – mísí vodu v okruhu pro ohřev výměníku CZT,
- c) *výměník CZT* – kvantifikuje výměnu tepla mezi municipálním systémem CZT a okruhem ohřevu,
- d) *rozdělovač* – umožňuje odklon vody pro obtok parovodního výměníku.

4.2.4 Systém čištění spalin

Systém čištění spalin simuluje neutralizaci emisních složek spalin, jejich odvod do komína a částečnou recirkulaci zpět do spalovací komory. Celek se sestává z těchto funkčních bloků:

- a) *suchá sorpce dávkováním NaHCO_3* – simuluje dávkování adsorbentu do proudu spalin,
- b) *kontaktor* – představuje aparát pro zajištění dostatečného promísení a požadované zdržné doby pro neutralizaci emisních složek,
- c) *látkový filtr I.* – separuje popílek, adsorbent a vzniklé soli ze spalin,
- d) *rozdělovač* – dělí část spalin a recirkuluje je zpět do spalovací komory,
- e) *recirkulační ventilátor* – dopravuje část spalin zpět do spalovací komory,
- f) *spalinový ventilátor I* – zajišťuje dopravu spalin ze spalovacího prostoru skrz aparáty využití entalpického obsahu spalin a prvního stupně čištění,
- g) *spalování zemního plynu a směšovač* – umožňuje dohřev spalin na teplotní úroveň nezbytnou pro průběh katalytické redukce NO_x přívodem spalin vznikajících spalováním pomocného paliva,
- h) *dávkování čpavku* – simuluje dávkování čpavkové vody (redukčního činidla) pro redukci NO_x ,
- i) *SCR reaktor* – simuluje katalytickou redukci NO_x v reaktoru,
- j) *dávkování aktivního uhlí* – simuluje dávkování práškového aktivního uhlí pro zachyt těžkých kovů a persistentních organických polutantů,
- k) *látkový filtr II.* – separuje nadávkované aktivní uhlí a zbytkové podíly TZL ze spalin,
- l) *spalinový ventilátor II* – zajišťuje dopravu spalin aparáty druhého stupně čištění a odvod spalin do komína.

4.2.5 Materiálová bilance procesu

Tab. 4 a tab. 5 shrnují hlavní bilanční hodnoty určené s pomocí softwarového systému W2E pro letní a zimní období:

Letní období		
Vstupní proudy		
<i>Odpad</i>	2 500	kg·h ⁻¹
<i>Zemní plyn</i>	5	m ³ ·h ⁻¹
<i>Surová voda</i>	365	kg·h ⁻¹
<i>Čpavková voda (25 %)</i>	24,5	kg·h ⁻¹
<i>Aktivní uhlí</i>	2,5	kg·h ⁻¹
<i>Hydrogenuhličitan sodný</i>	65	kg·h ⁻¹
Výstupní proudy		
<i>Pára</i>	8 338	kg·h ⁻¹
<i>Elektrická energie</i>	387	kW
<i>Škvára</i>	855,3	kg·h ⁻¹
<i>Popílek</i>	157	kg·h ⁻¹
<i>Průtok spalin na komíně</i>	14 822	m ³ ·h ⁻¹
<i>Odpadní voda</i>	162,4	kg·h ⁻¹
Energetická účinnost R1	94,7 %	

Tab. 4 – Hlavní bilanční hodnoty pro letní období

Energetická účinnost R1 je stanovena pro letní období dle rovnic (4.1) a (4.2) a pro zimní období dle (4.3) a (4.4). Vypočtené hodnoty jsou určeny jako ekvivalent celoročního provozu dle parametrů dané bilance:

$$E_{Plp} = 2,6 \cdot E_{elp} + 1,1 \cdot E_{tlp} = 2,6 \cdot 11\,145,6 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1} + 1,1 \cdot 135\,200 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1} = 177\,698,6 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1} \quad (4.1)$$

kde E_{Plp} je vyrobená energie ve formě tepla a elektřiny pro letní období [GJ·rok⁻¹],

E_{elp} je roční množství vyrobené elektrické energie pro letní období [GJ·rok⁻¹],

E_{tlp} je roční množství vyrobené tepelné energie pro letní období [GJ·rok⁻¹].

$$R_{1lp} = \frac{E_{plp} - (E_{flp} + E_{ilp})}{0,97 \cdot (E_{wlp} + E_{flp})} = \frac{177\,698,6 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1} - (1\,339,2 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1} + 0)}{0,97 \cdot (190\,652 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1} + 1\,339,2 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1})} = 0,947 \quad (4.2)$$

kde R_{1lp} je energetická účinnost pro zimní období [-],

E_{plp} je roční množství vyrobené energie ve formě tepla
nebo elektřiny pro letní období [GJ·rok⁻¹],

E_{flp} je roční energetický vstup do systému z paliv přispívajících
k výrobě páry pro letní období [GJ·rok⁻¹],

E_{ilp} je roční dodaná energie bez E_w a E_f pro letní období [GJ·rok⁻¹],

E_{wlp} je roční množství energie obsažené ve zpracovávaných
odpadech vypočítané za použití nižší čisté výhřevnosti
odpadů pro letní období [GJ·rok⁻¹].

Zimní období

Vstupní proudy

<i>Odpad</i>	2 500	kg·h ⁻¹
<i>Zemní plyn</i>	5	m ³ ·h ⁻¹
<i>Surová voda</i>	365	kg·h ⁻¹
<i>Čpavková voda (25 %)</i>	24,5	kg·h ⁻¹
<i>Aktivní uhlí</i>	2,5	kg·h ⁻¹
<i>Hydrogenuhličitan sodný</i>	65	kg·h ⁻¹

Výstupní proudy

<i>Pára</i>	8 338	kg·h ⁻¹
<i>Elektrická energie</i>	120	kW
<i>Škvára</i>	855,3	kg·h ⁻¹
<i>Popílek</i>	157	kg·h ⁻¹
<i>Průtok spalin na komíně</i>	14 822	m ³ ·h ⁻¹
<i>Odpadní voda</i>	162,4	kg·h ⁻¹

Energetická účinnost R1 87,3 %

Tab. 5 – Hlavní bilanční hodnoty pro zimní období

$$E_{Pzp} = 2,6 \cdot E_{ezp} + 1,1 \cdot E_{t zp} = 2,6 \cdot 3\,456 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1} + 1,1 \cdot 140\,800 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1} = 163\,865,6 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1} \quad (4.3)$$

kde E_{Pzp} je vyrobená energie ve formě tepla nebo elektřiny pro zimní období [$\text{GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$],

E_{ezp} je roční množství vyrobené elektrické energie pro zimní období [$\text{GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$],

$E_{t zp}$ je roční množství vyrobené tepelné energie pro zimní období [$\text{GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$].

$$R_{1zp} = \frac{E_{p zp} - (E_{f zp} + E_{i zp})}{0,97 \cdot (E_{w zp} + E_{f zp})} = \frac{163\,865,6 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1} - (1\,339,2 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1} + 0)}{0,97 \cdot (190\,652 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1} + 1\,399,2 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1})} = 0,873 \quad (4.4)$$

kde R_{1zp} je energetická účinnost pro zimní období [-],

$E_{p zp}$ je roční množství vyrobené energie ve formě tepla nebo elektřiny pro zimní období [$\text{GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$],

$E_{f zp}$ je roční energetický vstup do systému z paliv přispívajících k výrobě páry pro zimní období [$\text{GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$],

$E_{i zp}$ je roční dodaná energie bez E_w a E_f pro zimní období [$\text{GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$],

$E_{w zp}$ je roční množství energie obsažené ve zpracovávaných odpadech vypočítané za použití nižší čisté výhřevnosti odpadů pro zimní období [$\text{GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$].

Do výše uvedených výpočtů jsou pro stručnost dosazovány již převedené a přepočtené hodnoty pro roční zpracovatelskou kapacitu 20 kt odpadu, výhřevnost odpadu $9\,532,6 \text{ kJ/kg}$ udanou v bilančním schématu (viz příloha 3), roční fond pracovní doby $8\,000 \text{ hod} \cdot \text{rok}^{-1}$ stanovený v kap. 3.2 a průměrnou výhřevnost zemního plynu pro ČR $33,48 \text{ MJ/m}^3$, viz [36]. Ve výpočtu je zanedbán vstup paliv nepřispívajících k výrobě páry. V případě řešeného ZEVO se jedná o výkonový hořák **BU515**, který není stabilně v provozu.

4.3 Strojně-technologické schéma řešeného zařízení

Blokové schéma a bilanční schémata (viz *obr. 4.1 a příloha 3*) sloužila spíše k uvědomění si základních souvislostí a stanovení charakteristických parametrů nezbytných pro návrh jednotlivých aparátů. Pro demonstraci dispozice a konstrukce technologie je vhodné používat strojně-technologické schéma. Toto zahrnuje veškerá strojní zařízení a zobrazuje vzájemné závislosti pomocí proudů. Je bližší realitě a umožňuje vytvořit si základní představu o vhodném rozmístění jednotlivých částí technologie.

Hlavním podkladem při vypracovávání konstrukčního a dispozičního návrhu bylo tedy strojně-technologické schéma. Pro přehlednost a lepší představu je dále popsána funkce hlavních technologických proudů a prvků zobrazených ve schématu, viz příloha 5.

Odpad přivezený do ZEVO je vysypáván z popelářských vozů do bunkru na odpad **SB 101**. Pomocí drapáku **C 103** je odpad jeřábníkem promícháván a případně drcen v drtiči odpadu **SC 102**. Promíslený odpad se dopravuje drapákem do násypky **C 104**, která je uzavírána uzavíracím šoupětem **H 105**. Z násypky je odpad dávkován na přesuvný rošt **G 202** spalovací komory **CH 201** pomocí beranového podavače **C 106**, kde je následně spalován. Najíždění a stabilizaci plamene zajišťuje zapalovací hořák na zemní plyn **BU 228**.

Škvára z roštu propadá do výsypek a je dopravována šnekovým dopravníkem **C 212** přes turniket **TR 213** do suchého vynašeče škváry **C 218**.

Spaliny vytvořené při spalování odpadu dále pokračují do dohořivací komory **CH 203**, ve které je umístěn stabilizační hořák na zemní plyn **BU 229**. Z dohořivací komory spaliny vystupují v havarijních případech nouzovým komínem **ES 204** a při běžném provozu pokračují do obrátové komory **CH 205**. Z obrátové komory je odváděn gravitačně odloučený popílek pomocí šnekového dopravníku **C 214** do suchého vynašeče škváry s vibračním pásovým dopravníkem **C 218**.

Spalování v rámci spalovací komory je podporováno ventilátorem spalovacího vzduchu pro zapalovací hořák **V 230**, ventilátorem spalovacího vzduchu pro stabilizační hořák **V 231**, ventilátorem primárního vzduchu **V 232** a ventilátorem sekundárního spalovacího vzduchu **V 235**. Primární vzduch je před vstupem do spalovací komory předehříván pomocí předehřevu primárního spalovacího vzduchu – nízkotlak (LUVO I.) **HE 233** a dále pomocí předehřevu primárního spalovacího vzduchu – středotlak (LUVO II.) **HE 234**. Spalovací komora je současně udržována v podtlaku pomocí spalínového ventilátoru I. **V 513**.

Spaliny z dohořivací komory **CH 203** prochází přes mříž **GL 206** do parogenerátoru, který je tvořen přehřívákem **SH 207**, výparníkem I. **VA 208**, výparníkem II. **VA 209** a ekonomizérem I. **HE 210**. Parogenerátor je potrubím propojen s parním bubnem **BO 211**. Popílek, který se usazuje v parogenerátoru, je dopravován pomocí sady šnekových dopravníků popílku z kotle **C 215** a dále hrablového dopravníku popílku z kotle **C 217** přes šnekový dopravník popele z obrátové komory **C 214** do suchého vynašeče škváry.

Ze suchého vynašeče škváry **C 218** je škvára tříděna separátorem barevných kovů **SE219**. Magnetická část (*odpad s obsahem železa*) je dopravována pásovým dopravníkem **C220** do kontejneru železného odpadu **CO224**. Inertní část, která není ovlivňována magnetickým polem ani vířivými proudy separátoru je dopravována pásovým dopravníkem **C222** na pásový dopravník **C223**, který dopravuje škváru do kontejnerů škváry **CO226** nebo **CO227**. Zbylou část separované škváry tvoří barevné kovy, které jsou vrhány vířivými proudy separátoru na pásový dopravník **C221**, který je dopravuje do kontejneru barevných kovů **CO225**.

Do spalin z parního kotle je dávkován ve směšovači sorbentu I. **I 501** NaHCO_3 , který je vysypáván ze sila **S 604** a dopravován pomocí šnekových dopravníků sorbentu I. **C 608 A/B** do mlýnu sorbentu I. **M 611**. Dopravní ventilátor sorbentu I. **V 610** vhání vzduch do mlýnu sorbentu I. **M 611** a dopravuje sorbent do směšovače. Spaliny ze směšovače pokračují do kontaktoru **CT 502** a dále do tkaninového filtru I. **FF 504**. Pro zabezpečení filtru proti zahoření je potrubí osazeno přívodem vzduchu s přísávací klapkou **SV 503**.

Tkaninový filtr I. **FF 504** odlučuje popílek a nadávkovaný adsorbent průchodem přes filtrační rukávce. Usazené podíly jsou z povrchu filtru oklepávány impulzem vzniklým periodickým přívodem tlakového vzduchu systémem Pulse jet I. **PJ 505**. Popílek se sorbentem a vzniklými solemi se shromažďuje ve výsypkách a přes sadu uzavíracích šoupat výsypek **C 506** a přes dvojklapky **C 507** do šnekových dopravníků popílku z tkaninového filtru I. **C 508**, které dopravují odloučené podíly do ejektoru **E 510**. Z ejektoru **E 510** je směs dopravována vzduchem z dopravního dmychadla popílku I. **BL 509** do zásobního sila popílku I. **S 619**.

Spaliny vystupující z filtru **FF 504** jsou částečně recirkulovány recirkulačním ventilátorem **V 512** do bloku spalování. Množství recirkulovaných spalin je regulováno

pomocí frekvenčního měniče na ventilátoru a klapky **SV 511**. Hlavní proud částečně vyčištěných spalin je ventilátorem **I. V 513** dopravován do druhého stupně čištění. Před vstupem do reaktoru **SCR R 518** je teplota spalin v případě nutnosti upravena přímým ohřevem v **HE 514** výkonovým hořákem **BU 515** a vstřikovací mříží **I-517** je do spalin nadávkováno potřebné množství plynného amoniaku (odpařená čpavková voda).

Čpavková voda je z nádrže **T 601** dopravována pomocí čerpadel **P 602 A/B** přes odpařovač **HE 603** přímo do dávkování čpavkové vody **I 517**. Dávkování je podpořeno přívodem tlakového vzduchu, který je produkován kompresorem **BL 801** a shromažďován ve vzdušníku **T 802**. Tlakový vzduch ze vzdušníku je vysoušen v sušičce tlakového vzduchu **HE 803** a je dále využíván jako médium pro pneumatické pohony, pro provzdušňování výsypek, pro regeneraci filtrů a jako podpora vstřiku čpavkové vody.

Spaliny vystupující z **SCR reaktoru R 518** vstupují do ekonomizéru **HE 310** (*předehřev napájecí vody do kotle*). Za výstupem z ekonomizéru je dávkováno aktivní uhlí ve směšovači sorbentu II. **I 519** a spaliny jsou vedeny do tkaninového filtru II. **FF 521**. Před vstupem spalin do filtru je pomocí přísávací klapky **SV 520** umožněno přísávání vzduchu z okolí, pro případ nárůstu teploty čištěných plynů nad povolenou mez a pro zajištění ochrany filtrační tkaniny před zahořením.

Aktivní uhlí je pneumaticky dopravováno z tzv. „big-bag“ stanice sorbentu II. **S 612** dmychadlem sorbentu II. **BL 617**. „Big-bag“ stanice je osazena uzavíracím šoupětem **C 614**. Šnekový dopravník **C 615** dává uhlí ze stanice přes turniket **TR 616** do ejektoru **E 618** a dále do směšovače sorbentu **I 519**.

Tkaninový filtr II. **FF 521** separuje zbylé TZL a zreagované aktivní uhlí průchodem spalin přes tkaninové rukávce, které jsou periodicky oklepávány pro odstranění vrstvy odloučených tuhých podílů ve formě filtračního koláče pomocí periodického přívodu tlakového vzduchu systémem Pulse jet II. **PJ 522**. Popílek se sorbentem je shromažďován ve výsypce a je dopravován přes sadu uzavíracích šoupat výsypek **C 523** a přes dvojklapky **C 524** do „big-bagů“ **S 625**.

Spaliny z filtru **FF 521** jsou odtahovány spalinovým ventilátorem II. **V 525** do komína **ST 702**, před kterým je umístěn emisní monitoring **EM 701** (tzv. AMS²⁷).

Popílek ze sila **S 619** je pomocí provzdušňovacího systému **PJ 621** vyprazdňován přes uzavírací šoupě **H 622** a přes uzavírací klapku **H 623** do přistavené cisterny.

Voda vstupující do procesu je dopravována pomocí čerpadla surové vody **P 308** přes filtr mechanických nečistot s automatickým proplachem **F 313**, změkčovač vody **DUPLEX KA 314** a chladič odluhu **HE 316** do nádrže napájecí vody s termickým odplyňovačem **T 303**. Voda v nádrži napájecí vody je upravována chemikáliemi, které jsou dákovány ze zásobní nádrže siřičitanů **T 306** dákovacím čerpadlem **P 304** a fosforečnany ze zásobní nádrže **T 307** dákovacím čerpadlem **P 305**.

Upravená napájecí voda je dopravována dvojicí napájecích čerpadel **P 309 A/B** do ekonomizéru **HE 310** a následně do parního bubnu **BO 211**. Z parního bubnu **BO 211** a parogenerátoru je odváděn odluh a odkal do expandéru odluhu a odkalu **EX 315**, ze kterého je odpadní voda s kalem vedena do kanalizace.

Pára z přehříváku **SH 207** je vedena do parního kolektoru **K 311 A**. Z parního kolektoru je vysokotlaká pára distribuována do protitlaké turbíny **T 312**, do redukce páry

²⁷ Automatický měřicí systém

zástříkem vodou, do předehřevu primárního spalovacího vzduchu **HE 234** a do parního výměníku tepla pro dohřev **VT 903**. Expandovaná pára je vedena do parního kolektoru **K 311 B**, který distribuuje páru do nádrže napájecí vody **T 303** pro barbotáž, do předehřevu primárního spalovacího vzduchu **HE 233** a do parních výměníků tepla horkovodní sítě **VT 902 A/B**. Kondenzát ze všech míst zásobovaných parou je shromažďován ve sběrné nádrži kondenzátu **T 301**, odkud je dopravován dvojicí paralelně zapojených napájecích čerpadel kondenzátu **P 302 A/B** do nádrže napájecí vody **T 303**.

Voda z horkovodní sítě CZT je přiváděna pomocí dvojice paralelně zapojených oběhových čerpadel **C 901 A/B** do parních výměníků **VT 902 A/B** a **VT 903** a dále zpět do sítě. V případě, kdy není umožněno teplo odvádět do sítě CZT, je horká voda vedena do výměníku tepla chladicího okruhu **VT 401**. Výměníkem **VT 401** je cirkulováno chladivo pomocí dvojice paralelně zapojených oběhových čerpadel **P 404 A/B** do vzduchových mařičů tepla **VM 402**. Okruh je osazen expanzní nádrží **EN 403** a pro doplňování chladiva je připojeno doplňovací zařízení REFLEX REGLYK **DZ 406**.

5 STROJNĚ TECHNOLOGICKÉ ŘEŠENÍ ZAŘÍZENÍ

Následující kapitoly popisují konkrétní technické řešení výše popsané technologie. První okrajovou podmínkou návrhu konstrukce je popis stavebního místa a dále popis hlavních charakteristik vybraných aparátů, které významně ovlivňují zastavěný prostor. Na základě těchto parametrů je navrženo dispoziční řešení konstrukce ZEVO. Rozměry hlavních aparátů jsou uvedeny v příslušných data-sheetech, viz příloha 6.

5.1 Uvažovaný charakter stavebního místa a nezbytné terénní úpravy

Jak již bylo předesláno v kapitole 3.2, stavební místo má charakter „zelené louky“. Jinými slovy je uvažována na nezastavěném území. Z tohoto důvodu není v návrhu konstrukce a odhadu investičních nákladů uvažováno s demoličními pracemi. Rovněž se neuvažují složitější geologické podmínky, které by vyžadovaly rozsáhlejší stavební práce – např. budování hlubokých pilotů. Morfologie krajiny je předpokládána jako přibližně rovinná a není uvažováno s rozsáhlými terénními úpravami nebo odlesněním.

V souvislosti s obvyklým průběhem stavebního řízení podobného projektu se uvažuje, že se ZEVO nenachází v ochranných pásmech, chráněných krajinných útvarech ani v záplavovém území. Přípojky inženýrských sítí (kanalizace, vodovod, zemní plyn, elektřina, přípojka CZT) jsou v dosahu uvažovaného území a není uvažováno s budováním sítě mimo vyhrazené stavební místo. Rovněž je předpokládáno, že se v blízkosti stavební parcely nachází komunikace pro dopravní obsluhu, ke které bude ZEVO připojeno.

V rámci návrhu není provedena rozptylová studie, a tudíž není jasné, jaké výšky má dosahovat komín. Z tohoto důvodu je výška komína stanovena inženýrským odhadem.

Charakter stavby není vázán architektonickým návrhem pro zachování vhodného charakteru zástavby v dané lokalitě a nevyžaduje zvláštní zpřísnující podmínky na snížení hluchnosti a prašnosti provozu.

Zvoleným požadavkem je částečné zastřešení technologie, tedy část aparátů bude umístěna na volném prostranství z důvodu úspory investičních nákladů na stavební část.

5.2 PS01 Příprava a dávkování odpadu

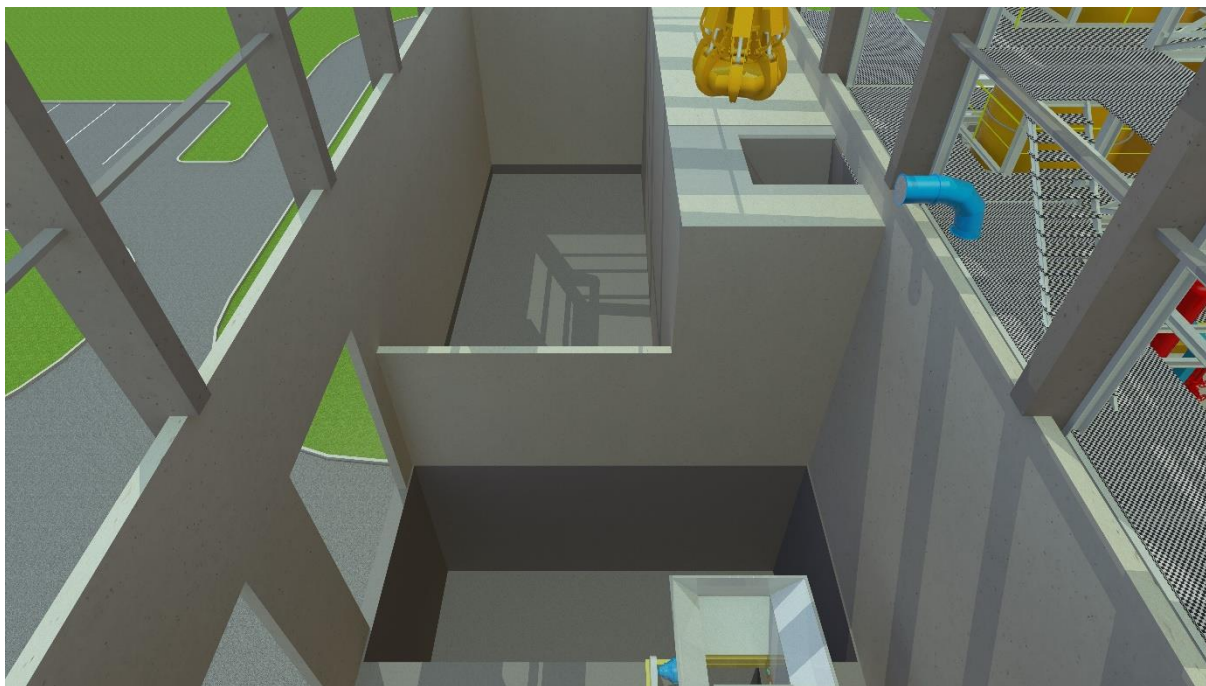
Příprava odpadu je zásadní pro každé zařízení energetického využití odpadu. Odpad je značně nehomogenním palivem z hlediska chemického složení i fyzikálních vlastností, především výhřevnosti. Velké rozdíly ve výhřevnosti dávkovaného paliva způsobují fluktuace uvolňované energie a značně tím degradují řiditelnost technologie. Z tohoto důvodu je nezbytné, aby byl skladovaný odpad homogenizován. Dosažení vyšší homogenity odpadu je realizováno drcením velkoobjemového odpadu a především jeho přesypáváním pomocí drapákového jeřábu **C 103**. Míra homogenity je usuzována pomocí elektronické váhy integrované do drapáku. Je-li hmotnost přemísťovaného paliva přibližně konstantní, usuzuje se, že je palivo dostatečně homogenní. Takto homogenizovaný materiál je dávkován beranovým podavačem **C 106** do spalovací komory **CH 201**.

5.2.1 SB 101 Skladovací bunkr odpadu

Skladovací bunkr je betonová jáma chráněná střechou před povětrnostními vlivy. Většina odpadu je vysypávána z popelářských vozidel přímo do vyhrazené jámy pro přípravu odpadu. Objemný odpad²⁸ se přiváží v kontejnerech, které se vždy odstaví do prostoru u bunkru před drtič odpadu. Odtud je objemný odpad přesouván pomocí drapákového jeřábu

²⁸ Velké kusy nábytku apod.

do drtiče a drcený odpad propadá po skluzu na hromadu do vyhrazené jámy na odpad. Drapákovým jeřábem je odpad přemísťován z jámy do bunkru a dále homogenizován jeho promícháváním. V souladu s BAT je prostor skladovacího bunkru odsáván ventilátory spalovacího vzduchu pro omezení zápachu unikajícího do okolí. Detailní parametry jsou uvedeny v příloženém data-sheetu příloha 6. Představu o konstrukčním provedení skladovacího bunkru odpadu je možné si představit dle obr. 5.1, nebo také viz příloha 7.



Obr. 5.1 – Vizualizace skladovacího bunkru odpadu (viz příloha 7)

Hlavní parametry skladovacího bunkru odpadu **SB 101**:

<i>Šířka</i>	<i>30,25 m</i>
<i>Délka</i>	<i>12,8 m</i>
<i>Hloubka</i>	<i>20,5 m</i>
<i>Užitný objem</i>	<i>1200 m³</i>
<i>Časová kapacita</i>	<i>6 dní</i>

5.3 PS 02 Spalovací zařízení a utilizace tepla

Spalovací proces je velmi častý a historicky dlouhodobě zkoumaný proces. Dosažení vysoké dokonalosti spalování je však značně problematické, a to z mnoha různých důvodů. Popis problematiky spalovacího procesu je z důvodu své rozsáhlosti nad rámec této práce a popis PS 02 se soustředí pouze na zevrubný popis konstrukčního provedení a hlavních parametrů. Detailně se problematice spalovacího procesu věnuje např. [37].

Technické řešení a návaznost jednotlivých částí technologie v rámci provozního souboru spalovacího zařízení a utilizace tepla jsou vyobrazeny na vizualizaci, viz obr. 5.2 anebo také viz příloha 7.



Obr. 5.2 – Vizualizace spalovacího zařízení a užití tepla (viz příloha 7)

5.3.1 CH 201 Spalovací komora

Spalovací komora je ocelová skořepinová konstrukce opatřená z vnitřních ploch vyzdívkou. Vyzdívka je tvořena z několika různých žáruvzdorných vrstev, které chrání ocelovou konstrukci před tepelnými vlivy a současně omezují tepelné ztráty spalovacího procesu. Konstrukce spalovací komory je osazena přesuvným roštem **G 202**, který slouží k přesypávání odpadu, čímž je dosahováno dostatečného prohořívání a také odloučení škváry a části popílku. Škvára a popílek propadají do spodní části komory, odkud jsou vyhrabovány pomocí vynášече škváry. Ve vyzdívce jsou také vytvořeny průrazy pro umístění zapalovacího hořáku, vstup primárního spalovacího vzduchu pod rošt, vstup sekundárního spalovacího vzduchu a pro vstup recirkulace spalin. Spalovací komora zajišťuje dostatečné promísení spalovacího vzduchu s hořlavinou a tedy téměř dokonalé spalování. Pro najíždění a stabilizaci plamene je komora osazena zapalovacím hořákem **BU228**. Detailní parametry jsou uvedeny v příloženém data-sheetu (viz příloha 6).

Hlavní rozměry spalovací komory **CH 201**:

<i>Šířka</i>	3,4 m
<i>Délka</i>	7,9 m
<i>Výška</i>	6,5 m

5.3.2 CH 203 Dohořivací komora

Dohořivací komora je ocelová skořepinová konstrukce opatřená z vnitřní strany vyzdívkou a stabilizačním hořákem **BU 229**. Slouží pro dohoření TZL a CO v rámci plnění legislativních podmínek spalování, kdy na konci spalovacího procesu musí být spaliny zahráty na teplotu minimálně 850 °C po dobu alespoň 2 vteřiny, viz kap. 2.1. Spaliny za normálních okolností opouštějí prostor dohořivací komory vstupem do obrátové komory. V havarijních případech, kdy hrozí nebezpečí poškození navazujících technologií (*zejména parogenerátoru nebo z důvodu ztráty podtlaku ve spalovací komoře*) je otevřen nouzový komín. Otevření nouzového komína je značně závažná situace, která je spojena s objasňováním příčin havárie ze strany Ministerstva životního prostředí ČR. Detailní parametry viz data-sheet příloha 6.

Hlavní rozměry dohořivací komory **CH 203**:

<i>Průměr</i>	3 m
<i>Výška</i>	10,8 m

5.3.3 CH 205 Obrátová komora

Obrátová komora je částečně konstruována obdobně jako dohořivací komora, ale její větší část je tvořena membránovou stěnou, která slouží jako výparník parogenerátoru. Slouží jako součást parogenerátoru a gravitační usazovák nejhrubších uletujících částic z prostoru spalování. Usazované částice se hromadí v dolní části obrátové komory, odkud jsou vyhrabovány šnekovým dopravníkem.

Hlavní rozměry obrátové komory **CH 205**:

<i>Šířka</i>	1,6 m
<i>Délka</i>	2,8 m
<i>Výška</i>	10 m

5.3.4 Parogenerátor

Parogenerátor je napojený na obratovou komoru a je tvořen svazky trubek umístěnými uvnitř ocelové konstrukce s vyzdívkou. Je tvořen z následujících částí, které zajišťují přehřev vody, vyvíjení páry a její přehřívání:

- a) **SH 207** přehřívák,
- b) **VA 208** výparník I.,
- c) **VA 209** výparník II.,
- d) **HE 210** ekonomizér I.,
- e) **BO 211** parní buben.

Hlavní rozměry parogenerátoru:

<i>Šířka</i>	<i>1,52 m</i>
<i>Délka</i>	<i>10,33 m</i>
<i>Výška</i>	<i>5,2 m</i>

5.4 PS 03 Parovodní hospodářství

Detailní popis parovodního hospodářství je po stránce technické i technologické značně obsáhlý. Z tohoto důvodu mu není věnována zvláštní pozornost a je popsáno pouze s ohledem na zastavěnou plochu. Většina částí je tlakových a je proto nezbytné je takto navrhovat v případě řešení prováděcího projektu. Při návrhu v rámci basic-designu jsou odhadnuty tloušťky stěn a voleny armatury a potrubí s minimální tlakovou třídou PN16. Níže uvedené aparáty jsou z dispozičního hlediska vysoce důležité.

5.4.1 N 301 Sběrná nádrž kondenzátu

Do sběrné nádrže kondenzátu je přiváděn veškerý kondenzát ze všech částí technologie využívajících páru. Z této nádrže je pak kondenzát dopravován pomocí čerpadla do nádrže napájecí vody. Hlavní rozměry sběrné nádrže kondenzátu **N 301** jsou:

<i>Průměr</i>	<i>1,8 m</i>
<i>Délka</i>	<i>4,8 m</i>
<i>Výška</i>	<i>3,3 m</i>
<i>Objem</i>	<i>12 m³</i>

Detailní parametry viz příloha 6.

5.4.2 T 303 Nádrž napájecí vody s termickým odplyňovačem

Do nádrže napájecí vody je přiváděn kondenzát ze sběrné nádrže kondenzátu N 301 a upravená surová voda. Nádrž je ocelová skořepinová konstrukce navržena jako tlaková nádoba. Její součástí je také nástavba pro termické odplyňování. Hlavní rozměry nádrže napájecí vody N 303 jsou:

<i>Průměr</i>	2,2 m
<i>Délka</i>	6 m
<i>Výška</i>	3,6 m
<i>Objem</i>	20 m ³

Detailní parametry viz příloha 6.

5.4.3 T 312 Protitlaká turbína

Vyráběná vysokotlaká pára je přiváděna na oběžné kolo protitlaké turbíny, které je roztáčeno expanzí páry. Rotační pohyb je z oběžného kola přes převodovku převáděn na vhodnou rychlost otáčení pro pohánění generátoru elektřiny. Produkováná elektrická energie je sfázována s rozvodnou sítí a může být využívána pro snížení spotřeby elektrické energie zařízením EVO nebo pro její distribuci do sítě. Detailní parametry protitlaké turbíny jsou uvedeny v data-sheetu, viz příloha 6. Zástavbové rozměry turbíny jsou:

<i>Šířka</i>	1,8 m
<i>Délka</i>	2,4 m
<i>Výška</i>	2,5 m

5.5 PS 04 Chladicí okruh

Pro zachování spolehlivého a bezpečného provozu zařízení je nezbytné, aby zařízení disponovalo systémem chlazení pro situace, kdy není dostatečná poptávka po tepelné energii. Z tohoto důvodu je v řešeném ZEVO navržen chladicí okruh, který odebírá teplo nízkotlaké páře, která s jeho pomocí kondenzuje. Chladicí okruh se sestává z parního výměníku tepla, vzduchových chladičů (mařičů tepla), expanzní nádrže a čerpadel, která udržují chladivo v oběhu.

5.5.1 VT 401 Výměník tepla chladicího okruhu

Do parního výměníku vstupuje jako horký proud nízkotlaká pára a jako chladný proud ochlazené chladivo. Ochlazením páry dochází k její kondenzaci a současně k ohřevu chladiva. Dostatečné ochlazení kondenzátu je nezbytné pro dosažení vhodné účinnosti termického cyklu. Detailní parametry viz data-sheet příloha 6.

Zástavbové rozměry výměníku tepla chladicího okruhu jsou:

<i>Šířka</i>	0,62 m
<i>Délka</i>	1,17 m
<i>Výška</i>	1,55 m

5.5.2 VM 402 Vzduchové chladiče (mařiče tepla)

Ohřáté chladivo je přiváděno do mařičů tepla. Mařiče tepla jsou tvořeny teplosměnnou plochou, která je nuceně ochlazována proudem vzduchu, který zajišťují vzduchové ventilátory. Detailní parametry viz data-sheet příloha 6.

Zástavbové rozměry vzduchových mařičů tepla jsou:

Šířka 2,28 m

Délka 9,33 m

Výška 2,95 m

5.5.3 EN 403 Expanzní nádoba chladicího okruhu

Z popisu funkce chladicího okruhu je zřejmé, že dochází k jeho nepravidelnému a nerovnoměrnému používání. Z tohoto důvodu dochází vlivem tepelné roztažnosti k tlakovým rozdílům, které jsou eliminovány použitím expanzní nádoby chladicího okruhu, případně dopuštění chladiva ze zásobní nádrže. Detailní parametry viz data-sheet příloha 6.

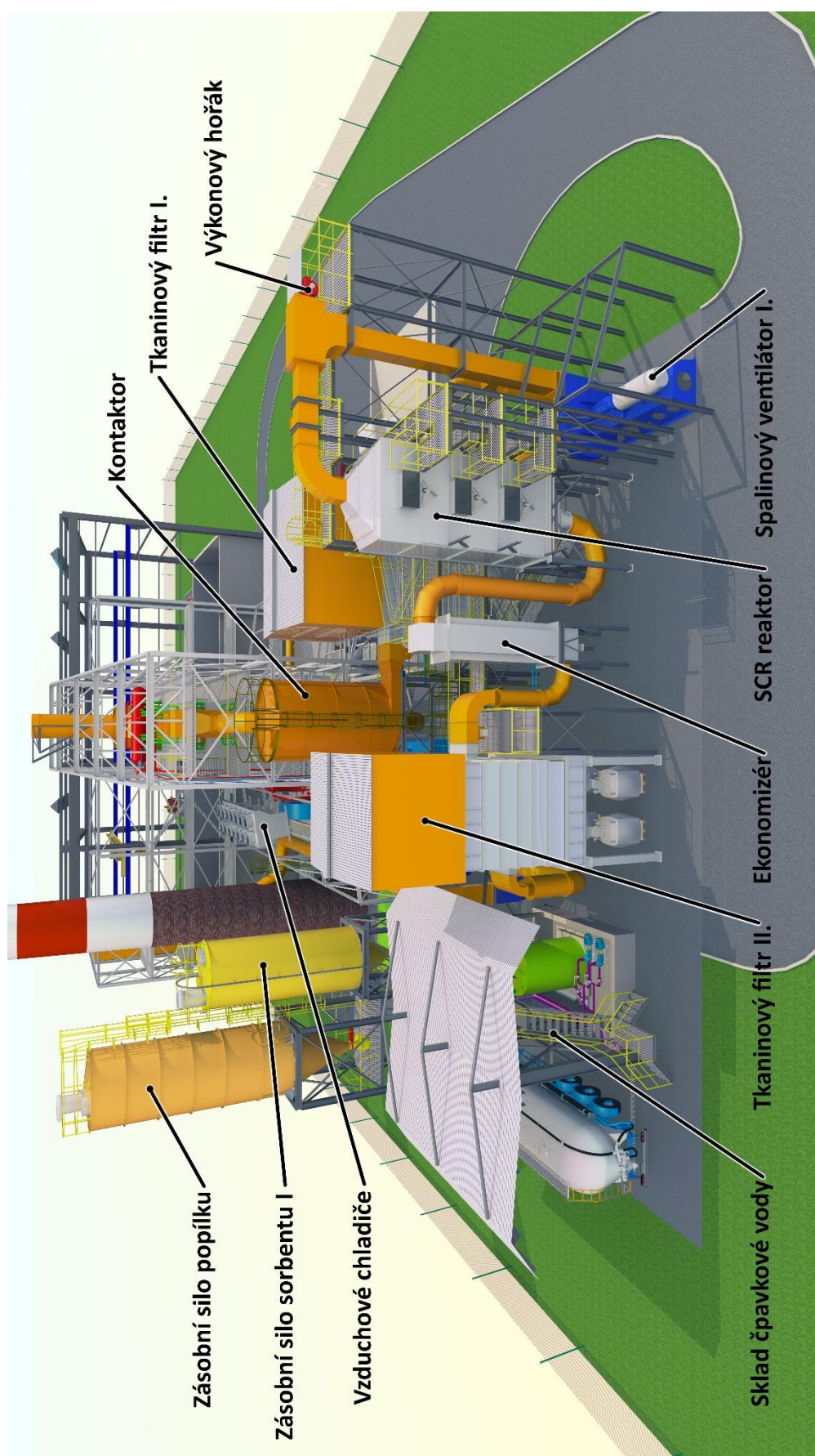
Zástavbové rozměry expanzní nádoby chladicího okruhu jsou:

Průměr 0,48 m

Výška 0,65 m

5.6 PS 05 Čištění spalin

Princip čištění spalin byl definován v kapitolách 4.2.4 a v 4.3. V následujících kapitolách jsou popsány hlavní aparáty podílející se na čištění spalin. Technické řešení a návaznost jednotlivých částí technologie v rámci provozního souboru čištění spalin jsou vyobrazeny na vizualizaci, viz obr. 5.3 anebo také viz příloha 7.



Obr. 5.3 – Vizualizace čištění spalin (viz příloha 7)

5.6.1 CT 502 Kontaktor

Kontaktor je válcový aparát s vnitřní vestavbou. Vestavbu tvoří přívodní svislé potrubí DN1100 a dále po jeho vnějším obvodu do spirály vedené obdélníkové potrubí, které ústí tangenciálně ven v dolní části kontektoru. Konstrukce kontektoru zajišťuje dostatečnou zdržnou dobu (minimálně 2 vteřiny) a současně turbulentní proudění, které je vhodné pro dosažení efektivní neutralizace kyselých složek. Turbulentní proudění napomáhá výměně hmoty a tím k dokonalejšímu promísení. Jelikož je vstupní potrubí napojeno na spodní část, je kontaktor postaven na ocelové konstrukci, aby byl vytvořen dostatečný připojovací prostor. Detailní parametry viz data-sheet příloha 6.

Zástavbové rozměry kontektoru jsou:

<i>Šířka</i>	4,85 m
<i>Délka</i>	4,2 m
<i>Výška</i>	12,72 m

5.6.2 FF 504 Tkaninový filtr I.

Tkaninový filtr je ocelová skořepina s vnitřní vestavbou, na kterou jsou upevněny filtrační rukávce. Spaliny vstupují do filtru otvorem 1400×710 mm a jsou přivedeny do prostoru s látkovými rukávci. Průchodem přes rukávce dochází k odloučení většiny TZL, solí a nadávkovaného adsorbentu. Přefiltrované spaliny opouštějí filtr otvorem 1400×500 mm.

Zachycený adsorbent a popílek vytváří na povrchu rukávců souvislou vrstvu, čímž dochází ke zvyšování tlakové ztráty. V případě, že dojde k většímu nárůstu tlakové ztráty, je aktivován oklep rukávců tlakovým vzduchem pomocí systému Pulse Jet.

Adsorbent a popílek spadá do 4 výsypek, které jsou opatřeny ohřevem, aby se tak předešlo nalepování na stěny případnou kondenzací vlhkosti ve spalínách. Manuální uzavření výsypek je umožněno pomocí ručního nožového šoupěte, které je za běžného provozu otevřeno a vyprazdňování je zajišťováno pomocí dvojklapky, která se střídavě otevírá a zavírá. Střídavým otevíráním polovin dvojklapky je zajištěna těsnost vyprazdňování a je tak významně redukováno přísávání vzduchu.

Odprašky (*popílek a adsorbent*) propadají dvojklapkami do šnekových dopravníků, které je dopravují do ejektoru.

Přístup k horní části filtru je zajištěn ocelovou konstrukcí se servisními plošinami a pro ochranu před povětrnostními vlivy je přístup k horní části filtru opatřen střechem a opláštěním, tzv. pent-housem.

Pro ochranu před vysokou teplotou spalin, která by hrozila poškozením filtru zahořením, je předřazena přísávací klapka na ředění spalin studeným vzduchem, která jeho namícháním sníží teplotu v případě havárie. Detailní parametry viz data-sheet příloha 6.

Zástavbové rozměry tkaninového filtru I. jsou:

<i>Šířka</i>	8,2 m
<i>Délka</i>	6,1 m
<i>Výška</i>	12,8 m

5.6.3 Doprava a řízení toku spalin

Celá trasa spalin od spalovací komory až před komín je udržována v podtlaku pomocí tří ventilátorů. Část od spalovací komory po tkaninový filtr I. je udržována v podtlaku spalínovým ventilátorem I a recirkulačním ventilátorem. Část od spalínového ventilátoru I. po tkaninový filtr II. je udržována v podtlaku pomocí spalínového ventilátoru II. Od tohoto místa jsou spaliny hnány přetlakem do části měření emisí a do komína.

Jednotlivé ventilátory jsou uvedeny v seznamu níže a jejich detailní popis parametrů je uveden v příslušných data-sheetech, viz příloha 6.

- a) **V 512** Recirkulační ventilátor spalin
- b) **V 513** Spalínový ventilátor I.
- c) **V 525** Spalínový ventilátor II.

5.6.4 R 518 SCR reaktor

SCR reaktor je vysoká skořepinová konstrukce s vnitřní vestavbou, na kterou jsou umístěna celkem 2 patra s katalyzátorem a 1 patro krycí, které je umístěno ve směru proudu spalin jako první. Katalyzátor je nanesen na patentovaném nosiči Honeycomb²⁹, viz [38], o rozměrech 150×150×800 mm. Tyto kvádry jsou umístěny ve formátu 4×4 do ocelového bloku. Sestava bloků v nosné ocelové krabici ve formátu 5×3 tvoří samostatné patro. Konstrukce reaktoru umožňuje vysunutí patra pomocí jeřábu a výměnu jednotlivých bloků.

Distribuce toku spalin je pevně dána instalací dvou řad rozváděcích plechů v horní části reaktoru nad krycím patrem.

Z důvodu regenerace katalyzátoru a čištění od prachových nečistot jsou do mezipater zabudovány parní ofukovače. Pro opravy a revize reaktoru je po stranách opatřen celkem 3 servisními otvory.

Přívodní potrubí spalin do reaktoru je před vstupem osazeno slepým ramenem, axiálně umístěným v ohybu k reaktoru. Do slepého ramena je umístěn výkonový hořák pro případný dohřev spalin. Současně je předřazena vstříkovací mříž plynného čpavku, který je v její blízkosti odpařován. Detailní parametry jsou uvedeny v příslušném data-sheetu, viz příloha 6.

Hlavní rozměry reaktoru jsou:

<i>Šířka</i>	<i>3,9 m</i>
<i>Délka</i>	<i>3,7 m</i>
<i>Výška</i>	<i>12 m</i>

²⁹ Obchodní jméno patentovaného nosiče. Pojmenování nese dle podobnosti se včelí pláství.

5.6.5 FF 521 Tkaninový filtr II.

Tkaninový filtr II. je stejně jako filtr I. ocelová skořepina s vnitřní vestavbou, na kterou jsou upevněny filtrační rukávce. Spaliny vstupují do filtru otvorem 1400×500 mm a jsou přivedeny do prostoru s látkovými rukávci. Průchodem přes rukávce dochází k odloučení zbylého TZL a nadávkovaného aktivního uhlí. Přefiltrované spaliny opouštějí filtr otvorem 1400×355 mm.

Oklep rukávců a vyprazdňování výsypek je provedeno stejně jako v 5.6.2. Odprašky (*popílek a aktivní uhlí*) propadají dvojklapkami přímo do big-bagů, které jsou po naplnění odváženy.

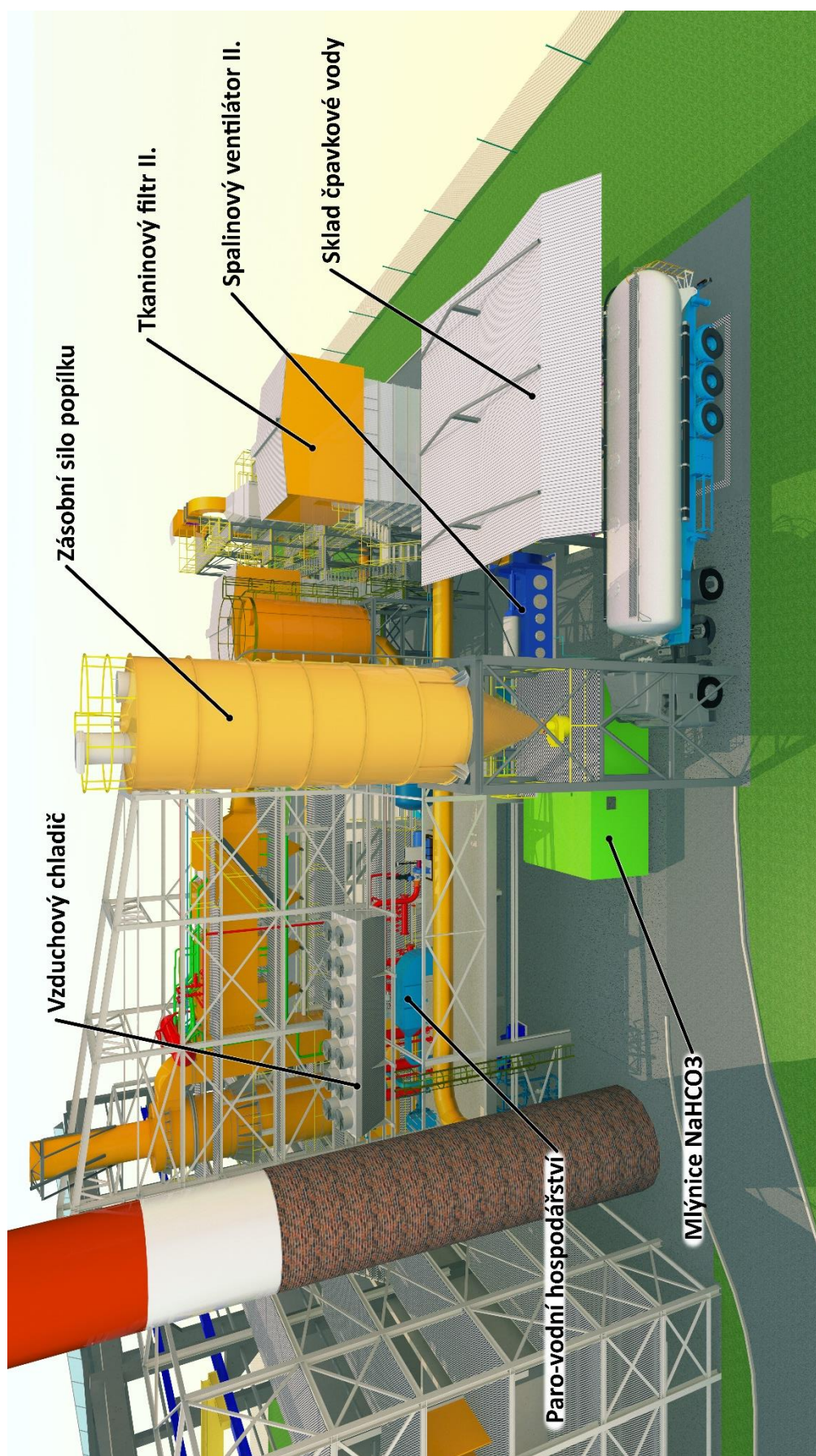
Přístup k horní části filtru je zajištěn ocelovou konstrukcí s pochozími plošinami a pro ochranu před povětrnostními vlivy je přístup k horní části filtru opatřen střechem a opláštěním, tzv. pent-housem. Detailní parametry viz data-sheet příloha 6.

Zástavbové rozměry tkaninového filtru II. jsou:

<i>Šířka</i>	<i>6,1 m</i>
<i>Délka</i>	<i>4,4 m</i>
<i>Výška</i>	<i>12,7 m</i>

5.7 PS 06 Pomocné provozy

Mezi pomocné provozy v rámci zařízení EVO patří doprava a úprava jednotlivých provozních médií, zejména vody, sorbentů, čpavkové vody a popelovin. Technické řešení a návaznost jednotlivých částí technologie v rámci provozního souboru pomocné provozy jsou vyobrazeny na vizualizaci, viz obr. 5.4 anebo také viz příloha 7.



Obr. 5.4 – Vizualizace pomocných provozů (viz příloha 7)

5.7.1 Čpavkové hospodářství

Čpavkové hospodářství spočívá především ve stáčení čpavkové vody do zásobní nádrže, jeho dopravě, odpařování a dávkování do spalin.

Čpavková voda je vlivem svých chemických a fyzikálních vlastností kategorizována jako nebezpečná látka ve smyslu nařízení [39]. Míra nebezpečnosti čpavkové vody závisí zejména na její koncentraci ve vodném roztoku, která v tomto případě činí cca 25 %. Při této koncentraci činí teplota varu při atmosférickém tlaku cca 37,7 °C [40], což výrazně zvyšuje riziko úniku plynného čpavku do okolního ovzduší v letním období. Z tohoto důvodu je čpavková voda uchovávána v mírném přetlaku a uskladňovací nádrž je tudíž nutné navrhovat jako tlakovou nádobu.

Zásobování ZEVO čpavkovou vodou je prováděno za pomoci cisternového nákladního vozidla, které najíždí do prostoru stáčení poblíž nádrže na čpavkovou vodu. Zde je připojeno na stáčecí potrubí a směs je poté čerpána do nádrže.

S ohledem na nebezpečný charakter čpavkové vody musí být prostor skladování a stáčení čpavkové vody vybaven vhodným skrápěcím systémem, který v případě havárie uniklý plynný čpavek adsorbuje do proudu vody. Z hlediska složitosti není v rámci této práce skrápěcí systém popsán a je uvažována pouze jeho finanční náročnost v rámci investičních nákladů.

5.7.1.1 T 601 Nádrž čpavkové vody

Nádrž je válcová tlaková nádoba opatřená vtokovou soustavou v horní části a výtokem v dolní části po straně. Z bezpečnostních důvodů je umístěna do betonové jímky, ve které se zachycuje případný únik. Jímka je napojena kanalizací na podzemní sběrnou nádrž, odkud je možné uniklou čpavkovou vodu odčerpat a nakládat s ní jako s nebezpečným odpadem. Do sběrné nádrže je rovněž napojen kanál, který ohraničuje prostor stáčení čpavkové vody z cisterny. Detailní parametry viz data-sheet příloha 6.

Zástavbové rozměry nádrže čpavkové vody jsou:

<i>Průměr</i>	2,2 m
<i>Výška</i>	3,2 m
<i>Objem</i>	10 m ³

5.7.2 Hospodářství NaHCO₃

Hospodářství NaHCO₃ zahrnuje zejména stáčení, skladování, mletí a pneumatickou dopravu sorbentu s následným dávkováním do spalin.

Hydrogenuhličitan sodný (*technická soda*) nesplňuje kritéria pro klasifikaci jako nebezpečná látka [41]. Z tohoto důvodu nakládání s technickou sodou nevyžaduje speciální bezpečnostní opatření.

Technická soda je dopravována do ZEVO pomocí cisternového nákladního vozidla, které přijíždí do blízkosti mlýnice, kde je následně připojeno na stáčecí potrubí. Stáčecí potrubí umožňuje pneumaticky doplňovat sodu do zásobní sila, které sorbent chrání před povětrnostními vlivy.

Soda ze sila je šnekovým dopravníkem dávkována přes turniket do mlýnu, ze kterého je jemně mletá pneumaticky dopravována do místa dávkování sorbentu do spalin. Mletí sody

navyšuje účinnost neutralizace kyselých látek zvyšováním aktivního povrchu dávkovaného množství, které tak snáze reaguje.

S ohledem na prostorovou náročnost je níže popsáno pouze zásobní silo spolu s budovou mlýnice.

5.7.2.1 S 604 Zásobní silo sorbentu I.

Zásobní silo je válcová nádoba usazená na nosné ocelové konstrukci nad úrovní mlýnice. Pneumatické stáčecí potrubí vstupuje do sila shora a přetlak vytvářený pneumatickou dopravou je odvětráván pomocí prachového filtru, tzv. silotopu³⁰.

Mlýnice umístěná pod silem je ve tvaru kvádrů. Uvnitř je umístěn mlýn, dmychadlo, rozvod pneumatické dopravy a místní rozvaděče. Opláštění je vytvořeno z polyuretanových panelů. Detailní parametry viz data-sheet příloha 6.

Zástavbové rozměry sila sorbentu I. jsou:

<i>Průměr sila</i>	<i>3,3 m</i>
<i>Výška sila</i>	<i>16 m</i>
<i>Objem sila</i>	<i>60 m³</i>
<i>Délka mlýnice</i>	<i>8,3 m</i>
<i>Šířka mlýnice</i>	<i>5 m</i>
<i>Výška mlýnice</i>	<i>3 m</i>

5.7.3 Hospodářství aktivního uhlí

Hospodářství aktivního uhlí zahrnuje zejména skladování a pneumatickou dopravu sorbentu s následným dávkováním do spalín.

Aktivní uhlí (zejména práškové) je považováno za nebezpečnou látku z důvodu hořlavého, resp. při určitých podmínkách výbušného charakteru. Z tohoto důvodu je nezbytné, aby manipulace s aktivním uhlím byla bezprašná a nedocházelo k tvorbě výbušného prostředí v okolí zařízení, které s aktivním uhlím jakkoli manipulují. Jako prevence před iniciací výbuchu je nezbytné, aby byly veškeré vodivé konstrukce řádně uzemněny a jednotlivá zařízení byla v provedení EX³¹.

ZEVO je zásobováno aktivním uhlím pomocí big-bagů, ve kterých je již předemleté aktivní uhlí. Big-bagy jsou před použitím uskladněny v dolních prostorách kryté části ZEVO, odkud se dle potřeby přesouvají na paletách do blízkosti big-bag stanice sorbentu II, která pomocí vestavěného kladkostroje umísťuje big-bag do násypky.

Big-bag stanice zajišťuje dávkování aktivního uhlí šnekovým dopravníkem do potrubí pneumatické dopravy, která sorbent přivádí do místa dávkování.

5.7.3.1 S 612 Big-bag stanice sorbentu II.

Big-bag stanice je ocelová konstrukce s vestavěným kladkostrojem, který umožňuje zdvihnout big-bag se sorbentem z prostoru před stanicí a umístit jej do výsypky, která je součástí konstrukce. Výsypka je v místě dosednutí big-bagu opatřena pryžovým lemem, který utěsňuje prostor mezi výsypkou a big-bagem a tím zajišťuje bezprašnost vyprazdňování.

³⁰ Válcový prachový filtr pro odprašování pneumaticky plněných sil.

³¹ Obecně užívané označení pro bezpečnostní kategorii zahrnující výbušné látky.

Výsypka je z důvodu prevence proti klenbování osazena provzdušňovacími tryskami na tlakový vzduch. Z výpadu výsypky je aktivní uhlí dávkováno šnekovým dopravníkem přes turniket do pneumatické dopravy, která sorbent přivádí k místu dávkování do spalín.

5.7.4 Popílkové hospodářství

V rámci popílkového hospodářství je zajišťována doprava, skladování a plnění nákladních vozidel pro odvoz popílku z tkaninových filtrů na skládku.

Popílek je zachycován na dvou tkaninových filtrech v rámci systému čištění spalín. Použitá technologie pro následné nakládání s popílkem se liší zejména z důvodu rozdílného zachytu popílku.

Na tkaninovém filtru I. se zachycuje vyšší množství popílku, jelikož je umístěn jako první v pořadí. Odloučený popílek spadá do vyhřívaných výsypek a následně propadá přes dvojklapky do soustavy šnekových dopravníků. Šnekové dopravníky odvádí popílek do ejektoru pneumatické dopravy popílku a je následně pneumaticky dopravován do zásobního sila popílku I. **S620**.

Zbýlý popílek a rovněž použitý sorbent se zachycují na tkaninovém filtru II. Odloučené látky spadají do vyhřívaných výsypek a dále propadají přes dvojklapky přímo do připravených big-bagů. Big-bagy mohou být jednoduše přemísťovány a odváženy na normalizovaných euro paletách.

5.7.4.1 S 619 Zásobní silo popílku I.

Zásobní silo je válcová nádoba usazená na nosné ocelové konstrukci nad úrovní průjezdu pro cisternové nákladní vozidlo, do kterého se popílek vyprazdňuje pomocí vyprazdňovací hubice.

Popílek je do sila přiváděn pneumaticky shora a vytvářený přetlak je odvětráván pomocí prachového filtru, tzv. silotopu. Detailní parametry viz data-sheet příloha 6.

Zástavbové rozměry sila popílku I. jsou:

<i>Průměr sila</i>	<i>3,56 m</i>
<i>Výška sila</i>	<i>21,1 m</i>
<i>Objem sila</i>	<i>90 m³</i>
<i>Průjezdna šířka</i>	<i>3,37 m</i>
<i>Průjezdna výška</i>	<i>5 m</i>

5.8 PS 07 AMS + komín

Dříve než vyčištěné spaliny opustí technologickou linku ZEVO je nezbytné posoudit účinnost čištění spalín a plnění emisních limitů. Za účelem měření emisních limitů je zařízení vybaveno emisním monitoringem, které monitoruje a zaznamenává úroveň emisí. Měřené spaliny následně opouští ZEVO komínem.

5.8.1 EM 701 Emisní monitoring

Emisní monitoring prostřednictvím elektronických měřicích prvků kontinuálně snímá úroveň emisí ve spalínách. Tyto měřicí prvky jsou umístěny do potrubí spalín na konci technologické linky mezi spalínovým ventilátorem II. a komínem.

Naměřené hodnoty jsou reálné a odpovídají tedy aktuálním podmínkám uvnitř potrubí. Pro posouzení úrovně znečištění spalín řídicí systém přepočítává hodnoty pomocí stavové rovnice na normální fyzikální podmínky a dále dle vztahu (2.3) na referenční koncentraci kyslíku. Hodnotícími kritérii a měřenými emisemi se detailně zabývá kap. 2.1.

5.8.2 KO 702 Komín

Komín je vysoká zděná konstrukce, do jehož vnitřku je vestavěna vnitřní vložka. Tato vložka slouží jako potrubí, kterým proudí spaliny směrem vzhůru do atmosféry. Dříve byla výška komína podmíněna zejména vytvořením dostatečného rozdílu hustot mezi okolní atmosférou na patě komína a na jeho výduchu. Tento rozdíl vytvářel samovolný tah, který byl dostatečný pro udržení celé technologie v podtlaku. Trend narůstání složitosti procesů technologie čištění spalín vyústil ve využívání dnes již několika ventilátorů, které dopravují spaliny linkou až do komína, který je tudíž v přetlaku.

Z tohoto důvodu přestalo být vytváření samovolného tahu v minulosti kritériem pro volbu výšky komína a volí se nyní na základě rozptylové studie. Rozptylová studie je dokument, který na základě vypočtených modelových hodnot znečištění hodnotí vliv stávajících nebo plánovaných zdrojů znečišťování ovzduší na imisní situaci v dané lokalitě [42]. Rozptyl emisí ze spalín je značně ovlivňován zejména prouděním vzduchu, které je v různých výškách rozdílné. Volbou vhodné výšky komína, lze ovlivnit rozptylové podmínky tak, aby bylo co nejméně ovlivňováno životní prostředí dostatečným nařazením spalín v okolní atmosféře.

Jak bylo řečeno v kap. 5.1, součástí práce není řešení rozptylové studie, a tudíž je výška komína stanovena inženýrským odhadem. Globálním trendem při výstavbě ZEVO je snižování výšky komínu, a to především kvůli zachování krajinného rázu a urbanistického řešení. Na základě doporučení pracovníků EVECO Brno s.r.o. je zvolena výška komínu 35 m.

5.9 PS 08 Kompresorovna

Ze strojně-technologického schématu je zřejmé, že technologie využívá na některé technologické operace tlakový vzduch. Jedná se zejména o přívody tlakového vzduchu pro:

- *hořáky,*
- *regeneraci filtrů na silech,*
- *provzdušňování výsypek sil,*
- *dávkování čpavkové vody,*
- *regeneraci tkaninových filtrů,*
- *emisní monitoring,*
- *ovládání pneumatických pohonů.*

Kompresorovna je místnost opatřená klimatizací, do které je umístěn kompresor, vzdušník a sušička tlakového vzduchu. Stlačený vzduch je po průchodu filtrem uchováván ve vzdušníku. Ze vzdušníku je tlakový vzduch postupně odebírán a prochází sušičkou a druhým filtrem přes redukční ventil dále do technologie.

Kompresí vzduchu je dobře prozkoumaným procesem a je obecně známo, že pro dosahování vhodné účinnosti, resp. relativně malého příkonu kompresoru, je zapotřebí stlačovat chladný vzduch. Apriory je tedy kladen požadavek na umístění kompresoru do chladného místa opatřeného větráním.

Ze zkušenosti lze prohlásit, že teplý vzduch má snahu hromadit se ve výše položených částech technologie. Z tohoto důvodu je vhodné umístit kompresorovnu do přízemí a klimatizovat tento prostor přívodem vzduchu z vnějšího prostředí.

5.9.1 BL 801 Kompresor

Výkon kompresoru je zvolen na základě odborných zkušeností pracovníků EVECO Brno s.r.o. v souvislosti s odhadovanou spotřebou tlakového vzduchu. Problematika detailní konstrukce kompresoru je nad rámec této práce a je plně v režii společností, které tato zařízení dodávají. V tomto případě je zvolen kompresor společnosti Atlas Copco jehož parametry jsou uvedeny v data-sheetu, viz příloha 6. Pro potřeby této práce je nezbytné shrnout především zástavbové rozměry:

<i>Šířka</i>	<i>1,86 m</i>
<i>Délka</i>	<i>0,68 m</i>
<i>Výška</i>	<i>1,56 m</i>

5.9.2 T 802 Vzdušník

Vzdušník je ocelová nádoba, která slouží jako zásobník tlakového vzduchu. Zásobník tlakového vzduchu je nezbytnou součástí technologie zejména pro vykrývání spotřebních špiček, kdy je krátkodobě zapotřebí více tlakového vzduchu, než je schopen dodávat kompresor. Použití vzdušníku umožňuje snížit investiční náklady na výkonnější kompresor, který by byl zapotřebí pro vykrývání těchto špiček. Detailní parametry jsou uvedeny v data-sheetu, viz příloha 6. Stejně jako v předchozím případě jsou pro potřeby této práce nezbytné zejména zástavbové rozměry:

<i>Šířka</i>	<i>1,86 m</i>
<i>Délka</i>	<i>0,68 m</i>
<i>Výška</i>	<i>1,56 m</i>
<i>Objem</i>	<i>1 m³</i>

5.9.3 HE 803 Sušička tlakového vzduchu

Připravený tlakový vzduch zpravidla obsahuje značné množství vlhkosti. Při jeho průchodu technologií by tak mohlo docházet ke kondenzaci vodní páry a k následnému hromadění kondenzátu v níže položených úsecích, kolenech, činných částech apod. Hromadění kondenzátu je nebezpečné z hlediska možného přerušení funkce jednotlivých zařízení, např. ucpávání trysek, zablokování pneumatického pohonu atp.

Pro zajištění správné funkce všech zařízení a prevence proti kondenzaci vodní páry je za vzdušník zařazena kondenzační sušička tlakového vzduchu.

Detailní parametry jsou uvedeny v data-sheetu, viz příloha 6. Zástavbové rozměry jsou:

<i>Šířka</i>	<i>1,86 m</i>
<i>Délka</i>	<i>0,68 m</i>
<i>Výška</i>	<i>1,56 m</i>

5.10 PS 09 Výměňíková stanice CZT

Výměňíková stanice CZT je fakticky soustava parovodních výměňíků, vodních kolektorů, distributorů, čerpadel, parních a vodních armatur. Účelem stanice je předávání tepla z vysokotlaké a nízkotlaké páry do horkovodního okruhu pro CZT.

Z hlediska zástavby jsou pro účely této práce důležité zejména parní výměňíky popsané v následující kapitole.

5.10.1 Parní výměňíky

S ohledem na požadovaný výkon výměňíků a provozní média (voda/pára) byly na doporučení společnosti Secespol zvoleny výměňíky vhodné pro uvedené použití.

Horký proud (pára) je přiváděn do meziprostoru mezi trubkami a pláštěm, chladný proud (horká voda) je přiváděn do trubek. Vzhledem k provozním tlakům jsou parní výměňíky posuzovány jako tlakové nádoby. Detailní parametry výměňíků včetně zástavbových rozměrů jsou uvedeny v příslušných data-sheetech, viz příloha 6.

6 DISPOZICE ROZMÍSTĚNÍ HLAVNÍCH TECHNOLOGICKÝCH CELKŮ

Rozmístění jednotlivých částí technologie je značně náročnou disciplínou a do rozhodovacího procesu vstupuje mnoho proměnných, které jsou často protichůdné. Typickým příkladem je kombinace hledání optimálního řešení pro kombinaci nízkých investičních a provozních nákladů, malé zastavěné plochy, vysoké účinnosti, jednoduché obslužnosti apod.

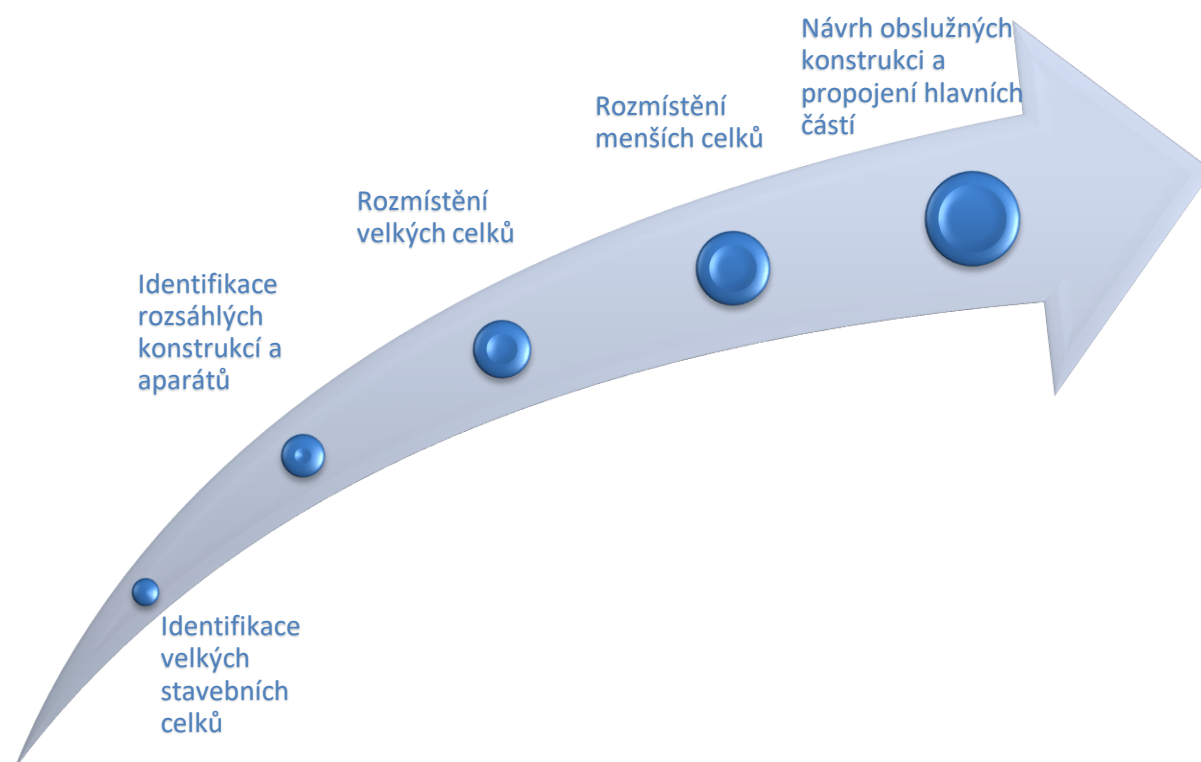
Pro představu lze uvést typický příklad, kterým je lomené koleno potrubí spalín. Z hlediska investičních nákladů by bylo vhodné zvolit koleno s nízkým počtem lomů (*ideálně jedním*) a malém průtočném průměru. Koleno takového provedení však bude vykazovat velkou tlakovou ztrátu z důvodů silného místního odporu a vysoké rychlosti proudění³². To se projeví zvýšením provozních i investičních nákladů za zvýšení výkonu čerpadla a také poklesem účinnosti provozu. Volbou velkého průměru a vysokého počtu lomení klesnou náklady provozní, ale vzrostou náklady investiční a současně se zvýší zastavěný prostor. Značnému množství podobných problémů se věnují příslušné normy a publikace doporučující vhodná provedení a způsoby návrhu.

V realitě je častým požadavkem sestavit návrh takového zařízení v omezeném prostoru, kterým je například stará teplárna či elektrárna. Další omezení mohou plynout například z výstavby v chráněném území nebo z výškového omezení.

Podobné problémy jsou při navrhování vhodné dispozice často přítomny a jsou v realitě průběžně diskutovány mezi investorem a projekčním týmem. V případě této práce nejsou tato omezení uvažována, avšak je kladen důraz na efektivní využití zastavěné plochy, požadavky jednotlivých zařízení, snadnou obslužnost a vhodné investiční i provozní náklady. Jedná se o komplexní problém zahrnující technologické, projekční, konstrukční, ekonomické a provozní aspekty.

³² Je nutno kalkulovat s faktem, že hodnota tlakové ztráty roste s druhou mocninou rychlosti a je proto nezbytné dbát zejména na volbu vhodné rychlosti. Není však vhodné volit ani příliš nízké rychlosti, aby nedocházelo k usazování poletujících částic a vytváření nálepů na stěnách potrubí.

Filozofie přístupu k celkovému dispozičnímu řešení je založena na postupu znázorněném na obr. 6.1.



Obr. 6.1 – Schéma logiky postupu při návrhu dispozičního řešení

6.1 Identifikace velkých stavebních celků

Identifikaci velkých stavebních celků je míněno posouzení, které stavební celky jsou z hlediska dispozičního řešení významné a jaká je jejich návaznost na další celky.

V případě řešeného zařízení lze za takové stavební celky považovat:

- a) budova přípravy a dávkování odpadu,
- b) hala spalovacího zařízení a utilizace tepla,
- c) sklad čpavkové vody,
- d) velín, denní místnost, sociální zázemí obsluhy,
- e) ovládací stanoviště jeřábníka,
- f) vrátnice a silniční váha.

Výše uvedené celky jsou doplněny výstavbou obslužných komunikací, zpevněných ploch a základů pro konstrukce a aparáty. V případě modelového řešení není výstavba těchto částí okrajovou podmínkou a jejich provedení vyplývá z rozmístění a požadavků jednotlivých částí technologie.

6.2 Identifikace rozsáhlých konstrukcí a aparátů

Řešené zařízení zahrnuje poměrně značné množství rozsáhlých konstrukcí a aparátů. Jejich vzájemná návaznost je zobrazena ve schématu uvedeném níže. Jedná se o následující konstrukce a aparáty:

- I. *Násypka odpadu* **C104**
- II. *Spalovací komora* **CH201**
- III. *Dohořivací komora* **CH203**
- IV. *Nouzový komín* **ES204**
- V. *Obratová komora* **CH205**
- VI. *Soustava parogenerátoru* **SH207, VA208, VA209, HE210**
- VII. *Suchý vynašeč škváry* **C218**
- VIII. *Separátor barevných kovů* **SE219**
- IX. *Soustava pásových dopravníků a kontejnerů* **C220, C221, C222, C223, C0224, C0225, C0226, C0227**
- X. *Sběrná nádrž kondenzátu* **T301**
- XI. *Nádrž napájecí vody s termickým odplyňovačem* **T303**
- XII. *Ekonomizér* **HE310**
- XIII. *Protitlaká turbína* **T312**
- XIV. *Vzduchové mařiče tepla* **VM402**
- XV. *Kontaktor* **CT502**
- XVI. *Tkaninový filtr I.* **FF504**
- XVII. *Recirkulační ventilátor spalin* **V512**
- XVIII. *Spalinový ventilátor I.* **V513**
- XIX. *SCR reaktor* **R518**
- XX. *Tkaninový filtr II.* **FF521**
- XXI. *Spalinový ventilátor II.* **V525**
- XXII. *Nádrž čpavkové vody* **T601**
- XXIII. *Zásobní silo sorbentu I.* **S604**
- XXIV. *Big-bag stanice sorbentu II.* **S612**
- XXV. *Zásobní silo popílku I.* **S619**
- XXVI. *Komín* **KO702**



Obr. 6.2 – Schéma návaznosti aparátů technologie ZEVO

Na schématu obr. 6.2 jsou zobrazeny hlavní závislosti. Tyto závislosti jsou barevně odlišeny v závislosti na prioritě jejich umístění v rámci dispozičního řešení. Odůvodnění výše zobrazených vztahů se věnuje kapitola 4.

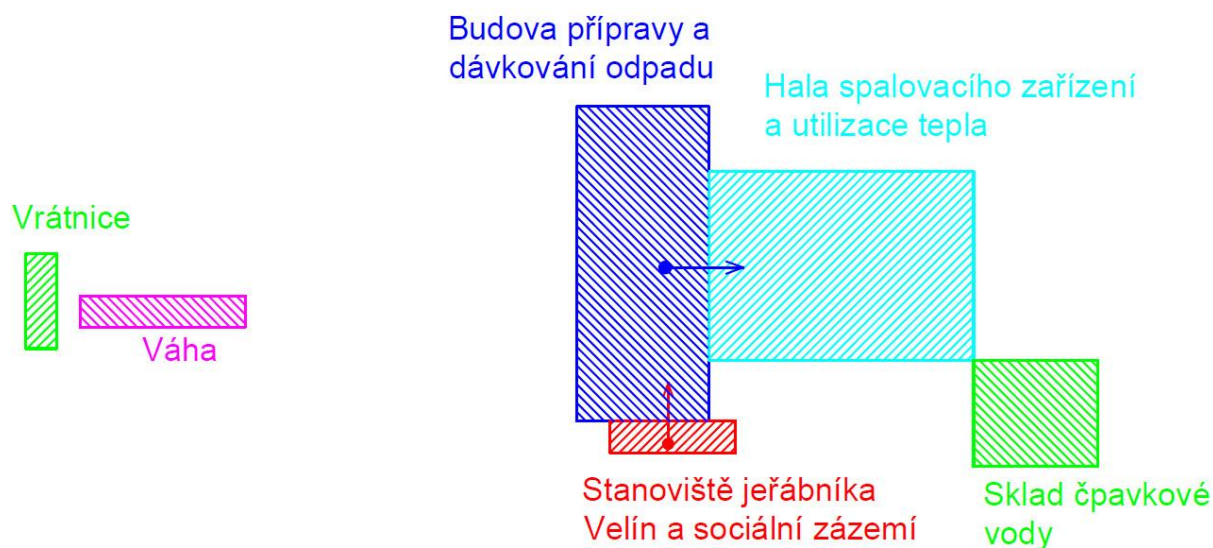
6.3 Rozmístění velkých celků

Z technologického schématu je zřejmé, že logická návaznost je mezi budovou přípravy a dávkování odpadu a mezi halou spalovacího zařízení a utilizace tepla. Z důvodu efektivity práce s odpadem je vhodné, aby jeho přepravní vzdálenost byla minimální. Proto je vhodné umístit tyto dvě budovy do těsné blízkosti vedle sebe, jak je znázorněno na následujícím schématickém nákresu. Umístění ovládacího stanoviště jeřábíka pro přípravu a dávkování odpadu je nezbytné rovněž umístit v blízkosti této budovy. Poloha tohoto stanoviště musí zajišťovat dostatečný výhled na prostor bunkru odpadu a z tohoto důvodu je třeba, aby byla umístěna v dostatečné výšce.

Velín a sociální zázemí obsluhy je vhodné umístit v blízkosti ovládacího stanoviště jeřábíka pro zkrácení komunikačních tras a také např. z důvodu zkrácení délky rozvodu vytápění.

Sklad čpavkové vody, vrátnice a silniční váha nevyžadují z hlediska logické návaznosti mezi stavebními celky speciální umístění.

Navržené rozmístění velkých celků je zobrazeno na schématickém nákresu, viz obr. 6.3.



Obr. 6.3 – Schématický nákres dispozice velkých celků

6.4 Rozmístění menších celků

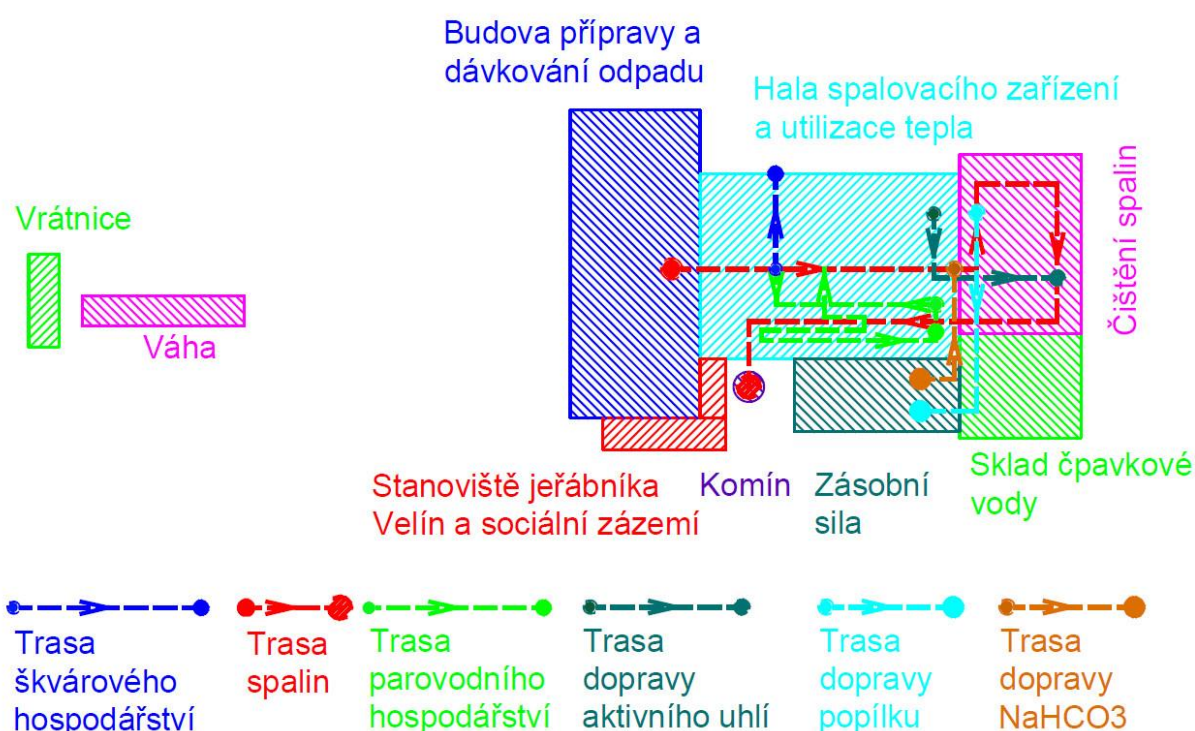
Z výše zobrazeného schématu, viz kap 6.2



obr. 6.2, jsou zřejmé vztahy mezi jednotlivými aparáty. Jejich rozmístění je voleno s ohledem na efektivní využití zastavěné plochy, a to přesně ve smyslu zobrazené posloupnosti, počínaje násepkou odpadu C104.

Hlavní trasou technologie je proud spalín od spalovací pece do komína. Tato trasa je z výše uvedených vztahů prioritní vzhledem k prostorové náročnosti vlastních aparátů. Sériové zapojení těchto aparátů v prostém rozložení za sebou je nevhodné z hlediska výsledné délky trasy, a proto je tato trasa zahnutá postupně směrem zpět, čímž je dosaženo vhodnějšího rozložení.

Aparáty, které se svými vztahy větví kolem hlavní trasy spalín, jsou rozmisťovány do prázdných míst způsobem, který má za cíl redukovat délky tras jednotlivých spojovacích potrubí. Současně je kladen důraz na zachování obslužnosti jednotlivých zařízení a zejména příslušných regulačních a uzavíracích armatur, hořáků atp. Skutečnou polohu aparátů rovněž ovlivňují některé technologické požadavky např. umístění umožňující dopravu média samospádem. Výsledná dispozice hlavních celků je zobrazena na následujícím schématickém nákresu, viz obr. 6.4.



Obr. 6.4 – Schématický nákres dispozice hlavních celků

Zbylé méně rozsáhlé aparáty jsou rozmisťovány kolem již rozmístěných větších celků. Menší celky jsou stejně jako v předchozím případě rozmisťovány tak, aby bylo dosaženo redukce délky dopravních tras a současně byla zachována rozumná obslužnost.

Výčet jednotlivých celků je uveden v seznamu aparátů, viz příloha 4, který vyplývá ze strojně-technologického schématu, viz příloha 5.

6.5 Návrh obslužných konstrukcí a propojení hlavních částí

Navržené aparáty zpravidla namátkově vyžadují obsluhu či obhlídku v jejich blízkosti. Umístění servisních otvorů, armatur a dalších částí, ke kterým je nezbytné zajistit přístup, je často ve výše položených místech. Pro zajištění obslužnosti je nutné navrhnout obslužné konstrukce způsobem, který v ideálním případě umožňuje zajistit obsluhu několika aparátů současně prostřednictvím jedné konstrukce.

Obslužných konstrukcí je navrženo více s ohledem na výše uvedená kritéria. Obslužné plošiny jsou umístěny na zásobních silech, u skladu čpavkové vody, v prostoru čištění spalín a dále uvnitř haly spalovacího zařízení a utilizace tepla.

Obslužné a nosné konstrukce aparátů slouží současně jako podpůrné konstrukce pro upevnění rozvodů médií. Propojování hlavních částí je prováděno po společných trasách za předpokladu, že je to technologicky vhodné. Vytváření společných tras umožňuje upevnění rozvodů prostřednictvím nižšího množství upevňovacích prvků, což se projevuje na klesající hodnotě investičních nákladů a také zvýšením přehlednosti.

6.6 Návrh zpevněných ploch a obslužných komunikací

Části konstrukce umístěné mimo stavební celky (*uvedené v rámci kapitoly 6.1*) vyžadují pro jejich umístění a upevnění výstavbu zpevněných ploch. Místa, kde jsou ukotveny konstrukce s vyšší hmotností, jsou zesílena základy pro zajištění stability proti sedání podloží.

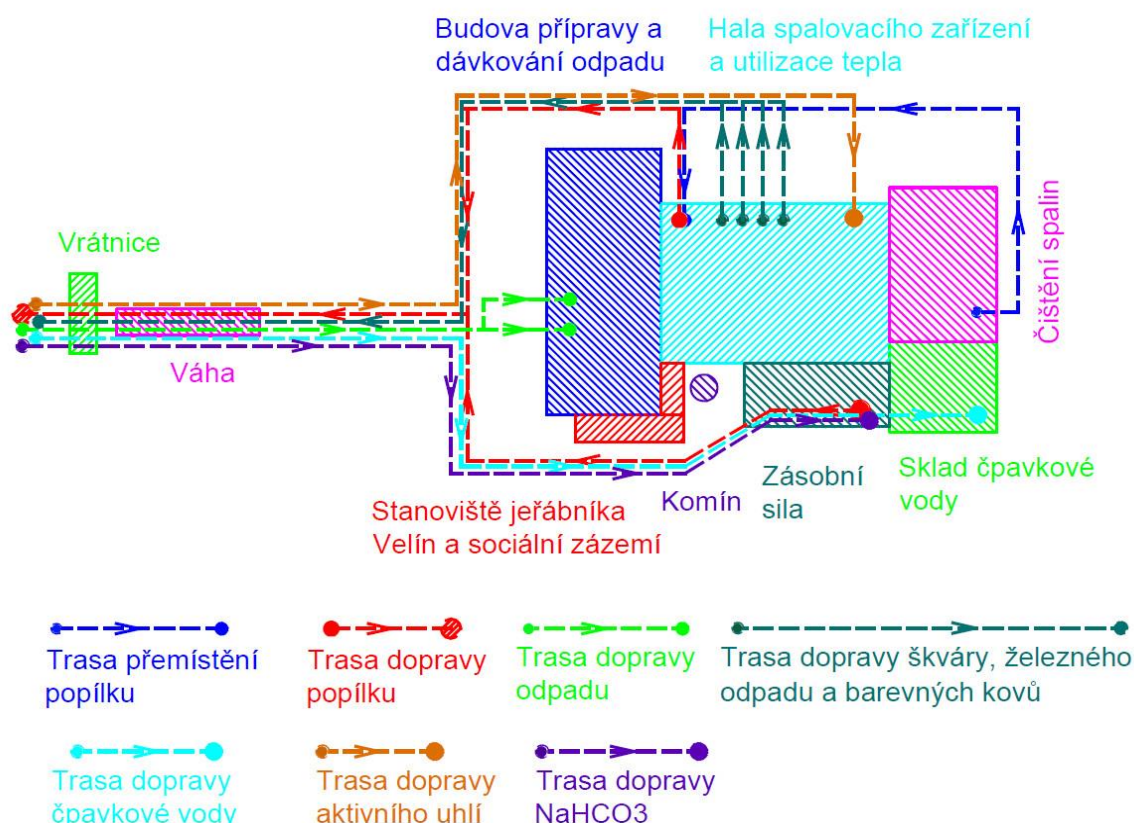
Zpevněné plochy rovněž umožňují odvod splaškových vod spádováním do kanalizace plně v souladu s legislativními požadavky.

Obslužné komunikace zajišťují přístup pro logistiku od vrátnice do místa:

- vykládky odpadu,
- nakládky kontejnerů se škvárou a separovanými kovy,
- vykládky NaHCO_3 ,
- nakládky popílku,
- vykládky čpavkové vody,
- vykládky big-bagů s aktivním uhlím.

Obslužné komunikace jsou provedeny způsobem, který umožňuje snadný příjezd, otáčení a výjezd dlouhých nákladních vozidel, které jsou uvažovány pro logistiku. Součástí obslužných komunikací je malé parkoviště pro odstavení vozidel zaměstnanců ZEVO a návštěv.

Výsledný návrh řešení obslužných komunikací a zpevněných ploch je uveden na schématickém nákresu, viz obr. 6.5.



Obr. 6.5 – Schématický náčrt řešení obslužných komunikací

6.7 Výsledné dispoziční řešení ZEVO

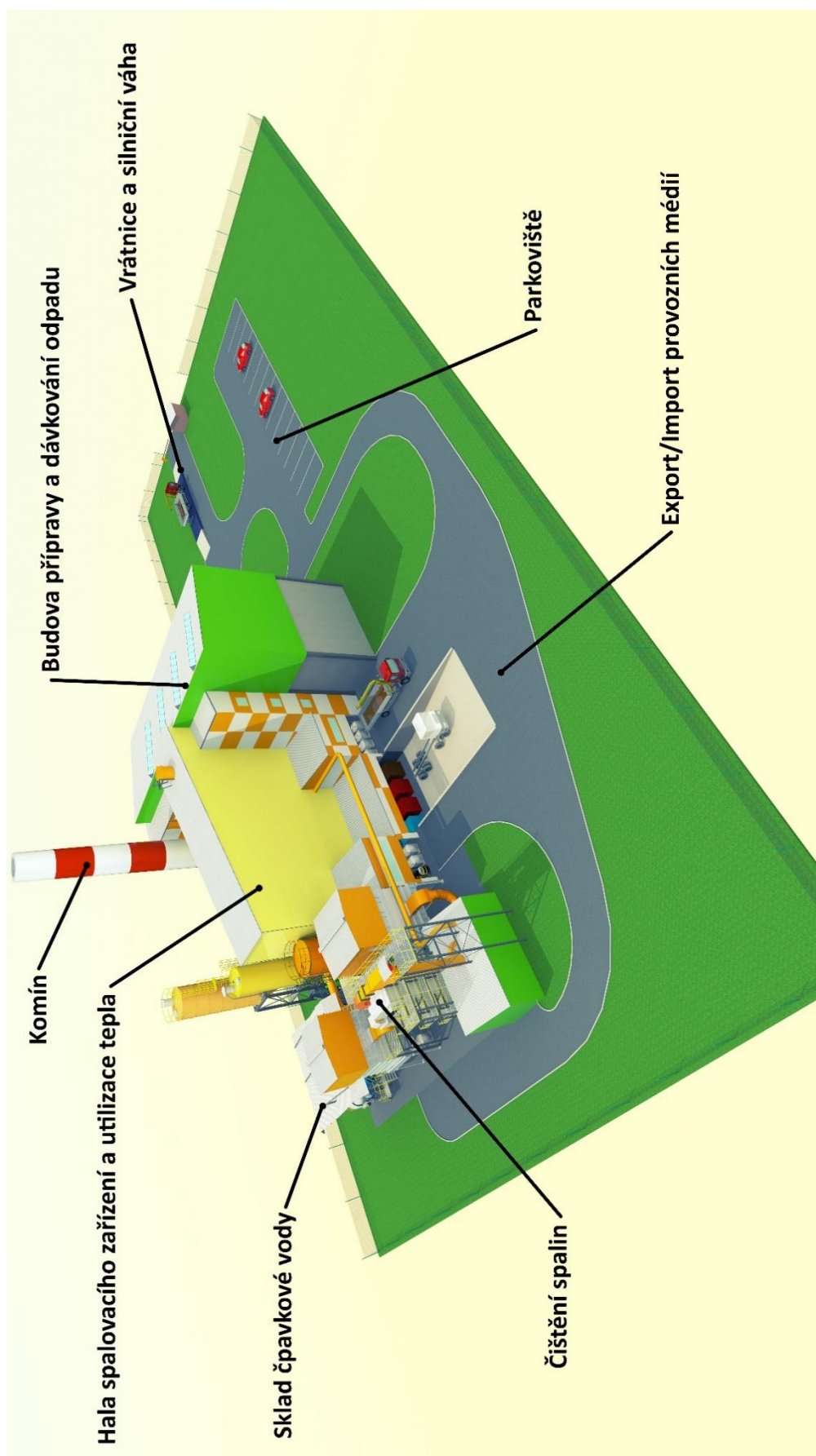
Rozmístění jednotlivých zařízení vyžaduje několik iterací, aby bylo dosaženo dostatečně příznivé polohy. Výsledné rozmístění je zobrazeno na zmenšených vizualizacích níže, dále viz příloha 7 a také na dispozičních výkresech, viz příloha 8.

Takto řešený basic-design ZEVO je vhodným podkladem pro statický výpočet jednotlivých konstrukcí, získání stavebního povolení, řešení rozptylové studie, architektonického návrhu, řízení EIA³³, územní plánování, ekonomické rozvahy apod.

³³ Environmental Impact Assessment – posuzování vlivu záměru na životní prostředí [42]



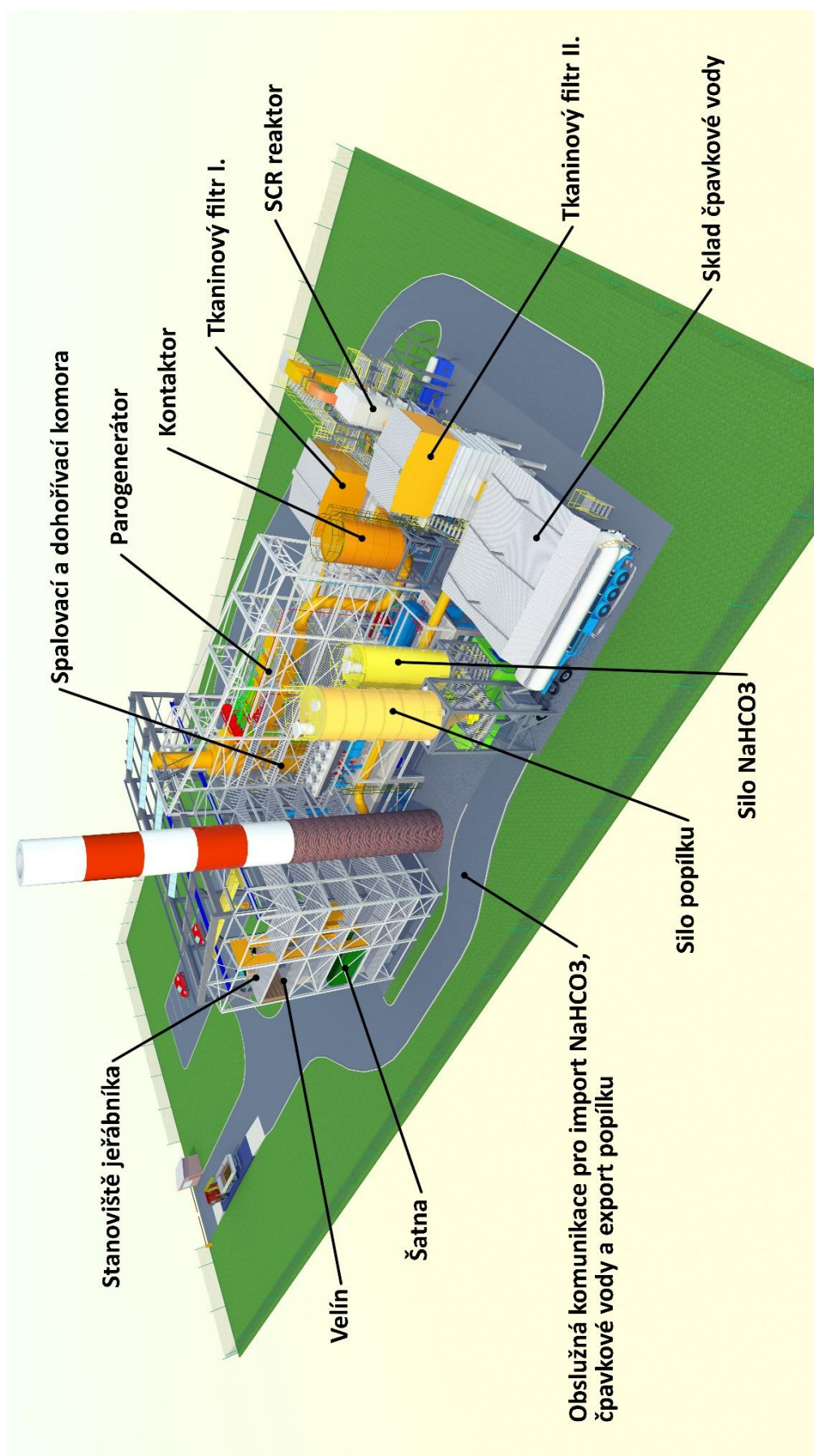
Obr. 6.6 – Vizualizace konstrukčního řešení ZEVO – pohled SV (viz příloha 7)



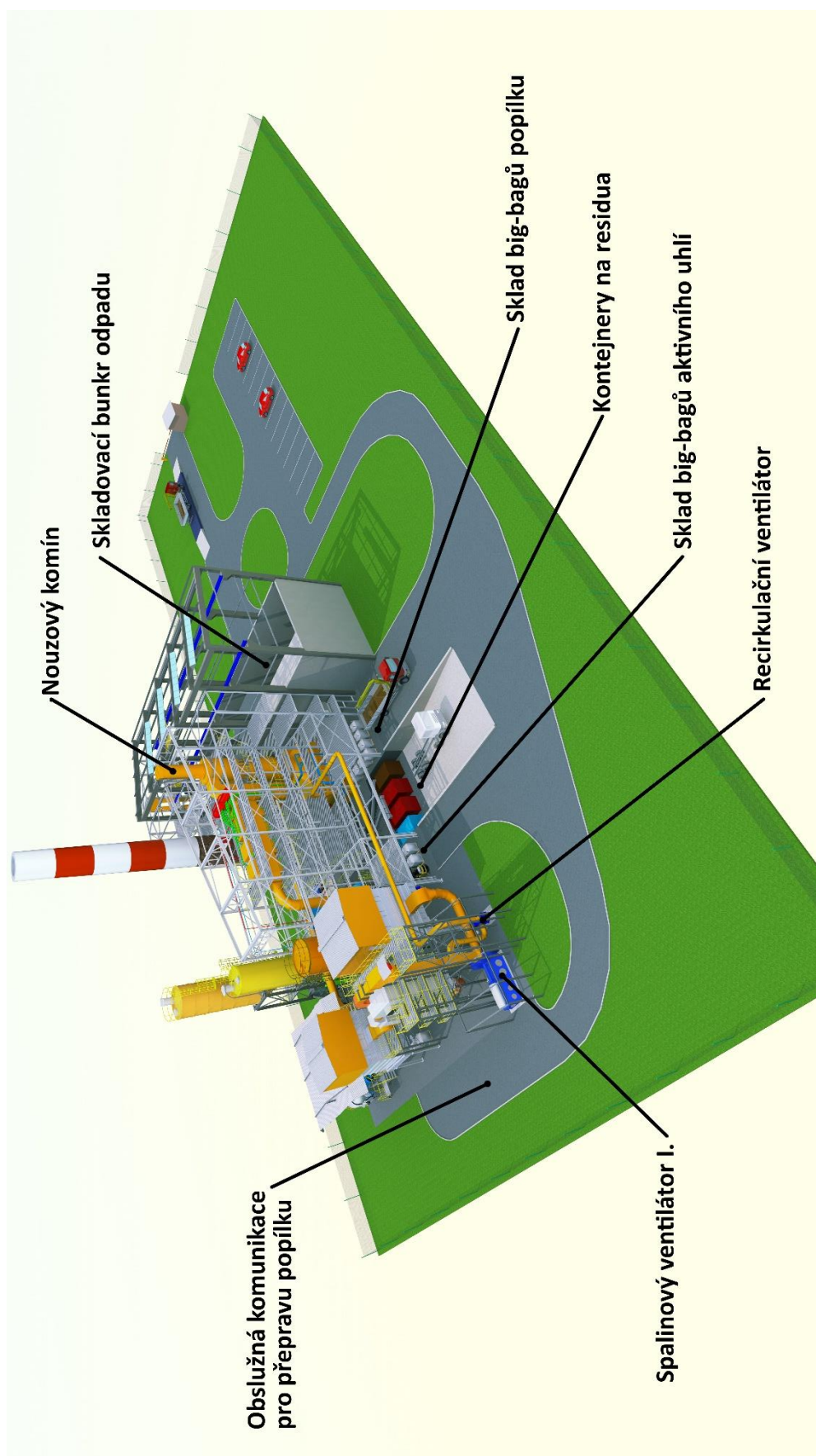
Obr. 6.7 – Vizualizace konstrukčního řešení ZEVO – pohled JV (viz příloha 7)



Obr. 6.8 – Vizualizace vjezdu do ZEVO (viz příloha 7)



Obr. 6.9 – Vizualizace konstrukčního řešení ZEVO – pohled SV (viz příloha 7)



Obr. 6.10 – Vizualizace konstrukčního řešení ZEVO – pohled JV (viz příloha 7)

7 ODHAD INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ

Řešený basic-design je navržen na základě konzultací s dodavatelskými společnostmi a projekčním týmem. Konstrukce navržené v rámci řešení odpovídají běžným normám, avšak jejich skutečné provedení musí být ověřeno statickými výpočty, které jsou mimo rámec této práce. Stanovení investičních nákladů tedy odpovídá kvalifikovanému inženýrskému odhadu na provedení jednotlivých částí konstrukce a přesné investiční náklady mohou být do jisté míry odlišné. Přesnost odhadu takto detailně řešeného basic-designu je však výrazně vyšší ve srovnání s odhady vytvářenými například pomocí srovnávání závislosti investičních nákladů na kapacitě zařízení. Z tohoto důvodu může být takto stanovený odhad zdrojem cenných informací pro budoucí investice a strategické plánování. Náznorně to demonstruje přímou souvislost technických a ekonomických faktorů na základě využití moderních výpočtových nástrojů v kombinaci se zkušenostmi a „know-how“.

7.1 Odhad nákladů na projekční a inženýrské práce

Významnou částí investičních nákladů jsou projekční a inženýrské práce. Jejich náplní je příprava projektové dokumentace pro provedení stavby (v souladu s vyhláškou č. 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb) v nezbytném rozsahu, který obvykle zahrnuje zejména tyto části:

- a) průvodní zpráva,
- b) souhrnná technická zpráva,
- c) situační výkresy,
- d) dokumentace objektů a technických a technologických zařízení,
- e) dokladová část [43].

Projektová dokumentace zahrnuje vždy tyto části, přičemž jejich rozsah musí odpovídat druhu a významu stavby, jejímu umístění, stavebně technickému provedení, účelu využití, vlivu na životní prostředí a době trvání stavby [43].

7.2 Odhad stavebních nákladů

Odhad stavebních nákladů odpovídá výstavbě stavebních celků popsaných v rámci této práce. Tyto náklady pokrývají i zemní práce spojené s výstavbou základů, zpevněných ploch a obslužných komunikací. Odhad stavebních nákladů je však do jisté míry zavádějící položkou, neboť značně souvisí s charakterem terénu, na kterém je ZEVO budováno. Odlišných nákladů bude dosaženo například při výstavbě na skalnatém terénu. Pro účely této práce se uvažuje s běžným terénem popsaným v kapitole 5.1.

7.3 Odhad nákladů na strojní zařízení

Odhad nákladů na strojní zařízení odpovídá položkám uvedeným v seznamu aparátů (viz příloha 4). Uvedené náklady zahrnují výrobu, dopravu a montáž zařízení. Veškeré tyto práce jsou uvažovány v rámci ČR.

V práci [6] je diskutován malý vliv měření a regulace a také elektronických součástí na investiční náklady v závislosti na kapacitě ZEVO. Malý vliv nákladů je způsoben především téměř ekvivalentním rozsahem řídicích prvků pro řízení ZEVO o různých kapacitách zpracovávaného odpadu. Mírná změna v investičních nákladech je způsobena zejména použitím elektropohonů, jejichž výkon úzce souvisí s kapacitou zařízení. Z tohoto důvodu jsou náklady na měření a regulaci a elektroniku zahrnuty do části strojního zařízení.

8 SOUHRN INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ

Výsledné investiční náklady se sestávají z položek uvedených v předchozí kapitole. Stručné shrnutí investičních nákladů a jejich výsledný součet je uveden v tab. 6.

<i>Projekční a inženýrské práce</i>	40 mil. Kč
<i>Stavební část investičních nákladů</i>	60 mil. Kč
<i>Strojní část investičních nákladů</i>	300 mil. Kč
Celkové investiční náklady	400 mil. Kč

Tab. 6 – Tabulka souhrnu investičních nákladů ZEVO

Výše uvedené odhady investičních nákladů jsou bez DPH a pouze orientační, neboť se jedná o basic design modelového řešení ZEVO. Větší odchylky v reálném uplatnění lze očekávat zejména ve stavební části, jak je uvedeno v kapitole 7.2. Posouzení odlišnosti odhadu investičních nákladů od předpokládané hodnoty je uvedeno v kapitole 8.2.

8.1 Teoretický odhad investičních nákladů

Ke stanovení teoretického odhadu investičních nákladů je využito shromážděných dat a regresní analýzy uvedené v práci [6]. Pro stanovení hrubého odhadu postačí první část rovnice, která platí pro roční zpracovatelskou kapacitu nižší než 100 kt.

$$C_{inv}^{Uce} = 17,389 \cdot K_{rok} + 139,77 \quad (8.1)$$

kde C_{inv}^{Uce} jsou celkové investiční náklady na výstavbu ZEVO [mil. Kč],

K_{rok} je roční zpracovatelská kapacita ZEVO [kt·rok⁻¹].

Dosazením do (8.1):

$$C_{inv}^{Uce} = 17,389 \cdot K_{rok} + 139,77 = 17,389 \cdot 20 \text{ kt} \cdot \text{rok}^{-1} + 139,77 = \quad (8.2)$$

$$C_{inv}^{Uce} = 487,55 \text{ mil. Kč}$$

Teoreticky stanovený odhad odpovídá výstavbě ZEVO odpovídající kapacity 20 kt·rok⁻¹. Vypočtené náklady zahrnují stavební, strojní i elektronickou a elektrickou část. Tato hodnota je vhodným kritériem pro další posuzování odhadu investičních nákladů stanovených v rámci této práce.

8.2 Porovnání teoretického odhadu a basic-designu

Apriori je třeba znovu uvést, že investiční náklady na stavební část jsou pouze orientační z důvodu různorodosti možných podmínek pro výstavbu. Dlouhodobým výzkumem v oblasti ZEVO byla zjištěna data odpovídající reálným podmínkám, která zahrnují veškerou dříve diskutovanou problematiku. Jelikož není v tomto projektu uvažováno s náročnými podmínkami a omezeními, lze očekávat nižší investiční náklady, než je možné očekávat v reálných případech, tedy řešeních „šitých na míru“.

I přes výše zmíněný nedostatek jsou získané hodnoty důležitým poznatkem pro další strategické rozhodování. Zpřesnění odhadu investičních nákladů je důležité pro kvalitní posouzení ekonomické soběstačnosti a konkurenceschopnosti podobného projektu. Metodika uvedená v této práci však celý postup velmi urychlí a usnadní.

Princip stanovení nákladů lze praktikovat dvěma způsoby:

- stanovením pevného rozpočtu,

b) stanovením sumy nákladů na jednotlivé části konstrukce.

Stanovení sumy nákladů na jednotlivé části konstrukce je realizovatelné, je-li zpracována dostatečně detailní projekční dokumentace. V opačném případě je nutno přistupovat k inženýrskému odhadu, a to zejména v potrubních rozvodech. Z tohoto důvodu je v rámci DP přistoupeno k použití principu stanovení pevného rozpočtu. Hodnota rozpočtu byla stanovena na základě konzultací se spoluřešiteli centra kompetence na celkovou částku 400 mil. Kč. Uvedená částka je limitní a rozsah, složitost, materiály, použité technologie atp. jsou voleny s ohledem na tuto skutečnost.

<i>Teoretický odhad investičních nákladů</i>	487,55 mil. Kč
<i>Prakticky stanovený rozpočet</i>	400 mil. Kč
Diference investičních nákladů	87,55 mil. Kč

Tab. 7 – Tabulka bilance investičních nákladů ZEVO

Tab. 7 uvádí bilanci investičních nákladů a výslednou diferenci mezi teoretickým odhadem a stanoveným rozpočtem. Výsledné náklady jsou o 87,55 mil. Kč nižší, než bylo očekáváno dle teoretického odhadu. Úspora investičních nákladů činí cca 18 %, což je jednoznačně příznivý výsledek pro možnosti rozšíření výstavby ZEVO střední kapacity.

Úspora nákladů je podmíněna mnoha faktory, které jsou v praxi diskutovány při projednávání technické části projektu a souvisí zejména se životností konstrukce, technologickými parametry a komfortem.

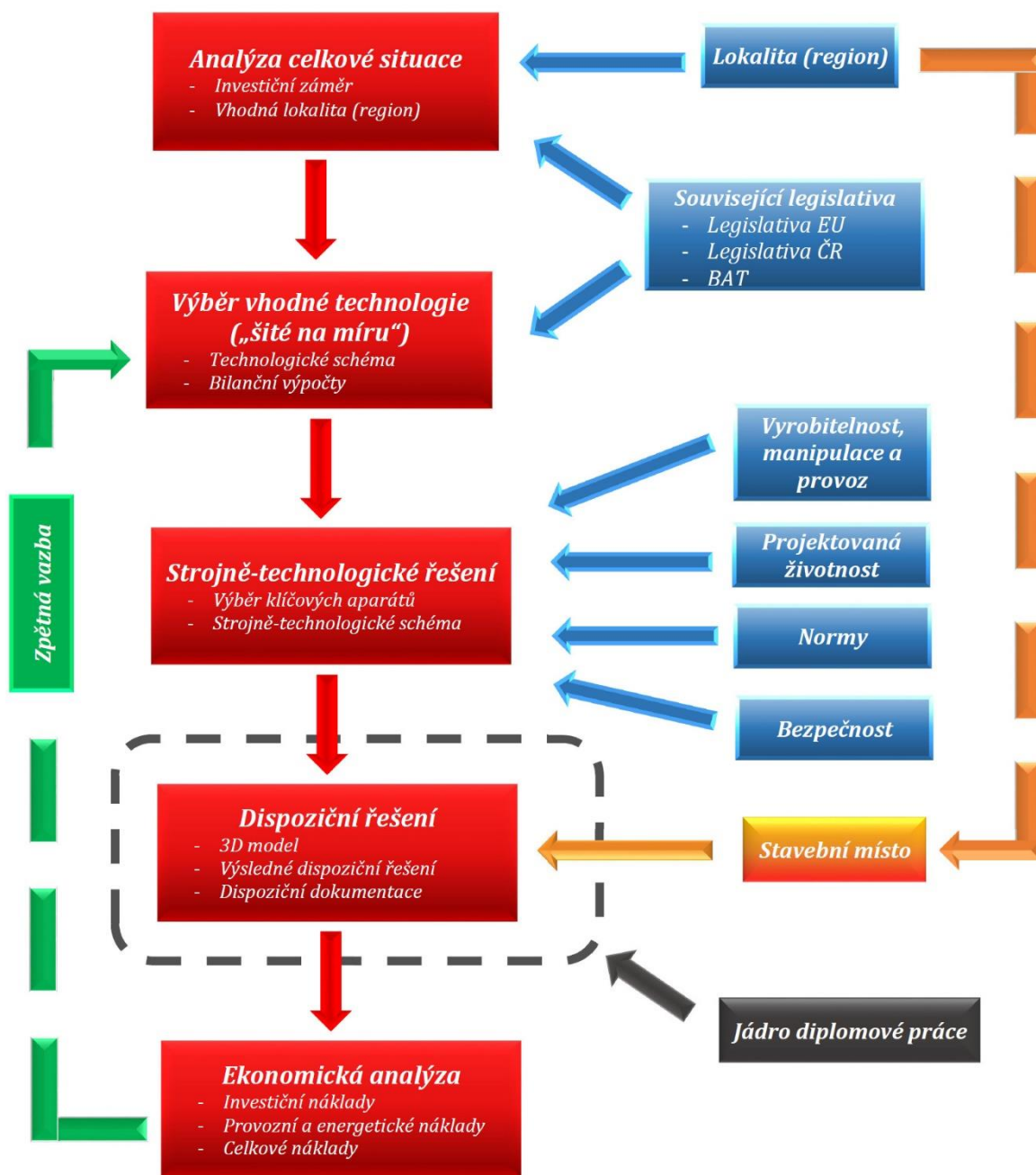
Životnost konstrukce souvisí předně s výběrem materiálu a jeho tloušťkou. Kvalitu materiálu je možné redukovat na optimum investičních nákladů, provozních nákladů a nákladů na opravy a rekonstrukce. Redukce kvality materiálu má však své hranice, které souvisí zejména s povětrnostními vlivy a technologickými parametry – zejména tlakem, teplotou, povahou médií atp. Tyto aspekty je nutno vzít v úvahu a redukci investičních nákladů provést s rozvahou.

Komfortem projektu je míněna jednoduchost obsluhy zařízení. Typickým příkladem je použití schodiště versus výtahu nebo obyčejných versus automatických vrat. V případě návrhu v rámci této práce je použito automatických vrat pro příjem odpadu, aktivního uhlí a odvoz residuí. Obsluha výše položených částí konstrukce je uvažována s nízkou četností a z tohoto důvodu je použito schodišť. Žebříků je použito pouze v několika málo případech, kde by bylo použití schodiště příliš neekonomické.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo zdokonalit metodiku komplexního postupu návrhu strojně-technologického a konstrukčního řešení moderního zařízení pro energetické využití odpadu o roční zpracovatelské kapacitě 20 kt a stanovit odhad investičních nákladů pro potřebu dalšího ekonomického a technického posuzování podobných projektů při strategickém plánování rozvoje odpadového hospodářství se zaměřením na energetické využití odpadu v ČR.

Metodika řešení zahrnující komplexní přístup je vyobrazena na obr. 10.1.



Obr. 10.1 – Metodika řešení zahrnující komplexní přístup

Pro zajištění shody konstrukčního návrhu s legislativními ustanoveními a předpisy Evropské unie a České republiky je v úvodu analyzován současný legislativní rámec spolu s posouzením potenciálu rozvoje v oblasti požadavků na míru čištění spalín v souladu s BAT.

Potenciál integrace ZEVO do systému odpadového hospodářství ČR je posouzen na základě výsledků studie pro Ministerstvo průmyslu a obchodu. S využitím této studie byly stanoveny parametry a okrajové podmínky pro řešení modelového ZEVO.

Výchozím podkladem pro řešení konstrukce ZEVO bylo bilanční a strojně-technologické schéma, které bylo iterativně upravováno v souladu s postupem prací na konstrukčním návrhu, aby bylo dosaženo optimálního technického a technologického řešení.

Použitá schémata jsou v práci popsána s postupným nárůstem detailnosti, což umožňuje čtenáři snazší průnik do problematiky zvolené technologie a vzájemných souvislostí. Data z bilančního schématu jsou stručně shrnuta v materiálové bilanci a pro zajištění souladu s legislativními požadavky je výpočtem stanovena účinnost R1 pro letní i zimní režim provozu.

Konstrukční řešení uvažuje i stanovení charakteru stavebního místa, pro které je ZEVO navrženo. Pro prvotní řešení bylo zvoleno modelové stavební místo rovinatého charakteru bez zvláštních požadavků, omezení či ztížených podmínek.

Na základě výše uvedených informací jsou v práci popsány použité aparáty, které jsou navrženy na základě konzultací s oficiálními výrobci a dodavateli, kteří jsou v daných oblastech odborníky. Detailní parametry hlavních aparátů jsou uvedeny v data-sheetech, které jsou pro přehlednost umístěny v přílohách.

Z důvodu seznámení čtenáře s problematikou návrhu dispozičního řešení ZEVO je v práci uveden systematický postup mající charakter syntézy. Aparáty a stavební celky jsou popsány z hlediska jejich významu a vzájemných vztahů, čímž je definován jejich dopad na celkové dispoziční řešení. Jednotlivá důležitá rozhodnutí, která významně ovlivňují výsledné dispoziční řešení, jsou jednoznačně vysvětlena a zdůvodněna, čímž je současně poukázáno na náročnost holistického přístupu (holistic approach) při navrhování zařízení podobného rozsahu.

Výsledné dispoziční řešení je v rámci práce zobrazeno pomocí 3D vizualizací a 2D dispozičních výkresů, které umožňují celkový pohled na finální konstrukční řešení projektu na úrovni detailu basic-design. Jedním z výsledků práce jsou zástavbové rozměry řešeného ZEVO.

Navržené řešení se zaměřuje zejména na technickou stránku, a proto nezahrnuje architektonický návrh, který je sice častou součástí nabídkových podkladů, ale svým rozsahem a zaměřením by vybočoval ze záměru práce. Postup uvedený v práci je však vhodným podkladem pro studie soukromého i veřejného sektoru o vhodném začlenění ZEVO do urbanistického řešení konkrétních potenciálních lokalit, pro které je zvolená zpracovatelská kapacita optimální.

Na základě konstrukčního návrhu jsou dle konzultací se zkušeným projekčním týmem (EVECO Brno, s.r.o. – spoluřešitel výzkumného projektu WtECC), dodavateli a výrobcí stanoveny investiční náklady na výstavbu ZEVO o roční zpracovatelské kapacitě 20 kt. Zjištěný výsledek je diskutován a posouzen se statisticky zpracovanými daty o již realizovaných projektech podobného charakteru.

Výsledná hodnota investičních nákladů stanovená při sestavování konstrukčního řešení ZEVO je důležitým podkladem pro další strategické posuzování těchto projektů. Výsledky práce umožňují provádět odpovídající ekonomické analýzy pro konkrétní lokality a prosazovat posilování konkurenceschopnosti energetického využívání odpadu ruku v ruce s rozvojem odpadového hospodářství a státní energetické koncepce v předmětné oblasti.

Konstrukční řešení doplněné o vhodné architektonické a urbanistické řešení může být do budoucna efektivním nástrojem dialogu s veřejností a prosazování moderního, účinného a k životnímu prostředí šetrného způsobu zpracování a využití různých druhů odpadů. Může být také podkladem a cennou zpětnou vazbou pro další vědecké a výzkumné práce, které se týkají zejména posouzení ekonomiky projektů, začlenění nových technologií čištění spalin, optimalizace logistiky apod.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. **ÚPI FSI VUT v Brně.** NERUDA - tool for simulation of waste flows at regional and/or international level | ÚPI FSI VUT v Brně. *ÚPI FSI VUT v Brně*. [Online] 2016. [Citace: 15. 3 2016.] Dostupné z: <http://www.upei.fme.vutbr.cz/veda-vyzkum/neruda>.
2. **EUROSTAT.** Municipal waste. *EUROSTAT*. [Online] 23. 5 2016. [Citace: 25. 6 2016.] Dostupné z: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasmun&lang=en.
3. **BALÁŠ, Marek, Zdeněk SKÁLA a Martin LISÝ.** Spalovny odpadu - odpad jako palivo. *TZB-info*. [Online] 27. 10 2014. [Citace: 25. 6 2016.] ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/energie-z-odpadu/11897-spalovny-odpadu-odpad-jako-palivo>.
4. **Český statistický úřad.** Produkce, využití a odstranění odpadů - 2014. *Český statistický úřad*. [Online] 30. 10 2015. [Citace: 25. 6 2016.] Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-2014>.
5. **KREJČÍ, Tomáš.** *Středotonážní spalovna odpadů - systém čištění spalín*. Brno, 2015. Diplomová práce : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce: doc. Ing. Ladislav Bébar, CSc..
6. **UCEKAJ, V.** *Analýza možností nakládání s komunálními odpady v rámci mikroregionu*. Brno, 2011 : Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce: doc. Ing. Ladislav Bébar, CSc..
7. **STEHLÍK, Petr.** *Up-to-Date Waste to Energy Approach. From Idea to Industrial Application*. Rio de Janeiro : Springer International Publishing, Switzerland, Cham.
8. **EVECO BRNO, S.R.O.** MPO Efekt. *Informační portál Ministerstva průmyslu a obchodu o podpoře energetických úspor a využití obnovitelných zdrojů energie*. [Online] 2014. [Citace: 3. 6 2016.] Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/cz/ekis/publikace/59527>.
9. **REIMANN, Dieter O.** *Results of Specific Data for Energy, Efficiency Rates and Coefficients, Plant Efficiency factors and NCV of 97 European W-t-E Plants and Determination of the Main Energy Results*. Bamberg, Germany : CEWEP Energy Report, 2005 (Updated 2006).
10. —. *Steigerung des nutzbaren Energiepotentials bei Einsatz von Natriumbicarbonat in der Rauchgasreinigung*. Fürstenfeld : Deutschland, 2007.
11. **SCHULTES, Michael.** *Abgasreinigung- Verfahrensprinzipien, Berechnungsgrundlagen, Verfahrensvergleich*. Berlin : Springer Verlag, 1996. ISBN 3-540-60621-1.
12. *Waste to energy conversion technology*, xxi. **Naomi B. Klinghoffer, Marco J. Castaldi.** Woodhead publishing series in energy, Oxford : Woodhead Publishing, 2013, 234 s. ISBN 978-0-85709-011-9.
13. **SANTOLIERI, J., J. REYNOLDS a L. THEODORE.** *Introduction to Hazardous Waste Incineration*. Second Edition. New York : John Wiley & Sons, 2000. ISBN 0-471-011790-6.
14. **PAVLAS, M., L. BÉBAR, J. KROPÁČ a P. STEHLÍK.** *Waste to energy - an evaluation of the environmental impact*. Chemical Engineering Transactions : 18, p. 671-676, 2009.
15. **ČESKO.** Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů. *Sbírka zákonů České republiky*. [Online] 2001. [Citace: 15. 3 2016.] Dostupné z: [http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/8fc3e5c15334ab9dc125727b00339581/\\$FILE/Z%20185_2001.pdf](http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/8fc3e5c15334ab9dc125727b00339581/$FILE/Z%20185_2001.pdf).
16. **SCHAUSBERGER P., A. MILTNER a A. FRIEDL.** *Modelling and simulation of fluegas cleaning processes, Proceedings of 18th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2008, 11th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction*. Prague : Czech republic, 2008.

17. **KREJČÍ T., M. KRŇÁVEK a L. BÉBAR.** *WP4 - DÍLČÍ ODBORNÁ ZPRÁVA ZPRÁVA ZA ROK 2016.* Brno : VUT v Brně, 2017.
18. **ČESKO.** Zákon č. 229/2014 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů. *Sbírka zákonů České republiky.* [Online] 2014. [Citace: 15. 3 2016.] Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2014-229>.
19. —. Zákon č. 294/2005 Sb. o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady. *Sbírka zákonů České republiky.* [Online] 2005. [Citace: 15. 3 2016.] Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-294>.
20. —. Vyhláška č. 415/2012 Sb. o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. *Sbírka zákonů České republiky.* [Online] 2012. [Citace: 15. 3 2016.] Dostupné z: [http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/AE682A6B5E42E986C1257BA60025D8B5/\\$file/V%20415-2012.pdf](http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/AE682A6B5E42E986C1257BA60025D8B5/$file/V%20415-2012.pdf).
21. —. Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší. *Sbírka zákonů České republiky.* [Online] 1. 9 2012. [Citace: 22. 4 2017.] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>.
22. —. Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií. *Sbírka zákonů české republiky.* [Online] 2012. [Citace: 1. 6 2016.] Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-406>.
23. **KLIMEK, P.** *Hodnocení efektivity využití odpadů k výrobě energie.* Brno, 2010. Diplomová práce : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce: Ing. Martin Pavlas, Ph.D..
24. **EUROPEAN COMMISSION.** BREF for Waste Incineration: Integrated Pollution Prevention and Control. *European IPPC Bureau.* [Online] 2006. [Citace: 2. 5 2017.] Dostupné z: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/wi_bref_0806.pdf.
25. **EVROPSKÁ UNIE.** Směrnice 2000/76/ES Evropského parlamentu a rady ze dne 4. prosince 2000 o spalování odpadu. *Úřední věstník L, č. 332/2000, s. 91 - 111.* [Online] 28. 12 2000. [Citace: 2. 6 2016.] ISSN 1018-5593. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=CELEX:32000L0076>.
26. **EVROPSKÁ UNIE.** Směrnice 2008/98/EC Evropského parlamentu a rady ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic. *Právo EU - EUR-Lex.* [Online] 22. 11 2008. [Citace: 2. 5 2017.] ISSN 1018-5593. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0098>.
27. **EVROPSKÁ UNIE.** Směrnice Evropského parlamentu a rady 2010/75/EU ze dne 24. listopadu 2010 o průmyslových emisích. *Úřední věstník L, č. 334/2010 s. 17 - 119.* [Online] 24. 11 2010. [Citace: 3. 6 2016.] ISSN 1018-5593. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:334:0017:0119:cs:PDF>.
28. **BÉBAR, L., M. PAVLAS, T. PAŘÍZEK, L. URBAN a P. STEHLÍK.** *Podmínky efektivního energetického využívání odpadů, Ve Sborníku 54. konference chemického a procesního inženýrství CHISA 2007.* Srní : Šumava, 15-18. 10. 2007. ISBN: 80-86059-47-2.
29. **MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU ČR.** Referenční dokumenty BREF - IPPC. *Integrovaná prevence a omezování znečištění.* [Online] 2009. [Citace: 3. 6 2016.] Dostupné z: <http://www.ippc.cz/obsah/referencni-dokumenty/>.
30. **PAŘÍZEK, T., L. BÉBAR a P. STEHLÍK.** *Metody pro snížení emisí perzistentních látek vzniklých spalováním odpadů, 54. konference chemického a procesního inženýrství CHISA 2007.* Srní : Česká republika, 15-18. 10. 2007.
31. **PAVLAS M., L. BÉBAR, J. KROPÁČ a P. STEHLÍK.** *WASTE TO ENERGY – AN EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT In 12th Conference on Process Integration, Modelling and.* Rome : Italy, 2009.

32. PAVLAS, M., L. BÉBAR, L. URBAN a P. STEHLÍK. *Analysis of utilizing energy from thermal processing of waste*, In *17th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2006, 7th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction PRES*. Praha : Česká republika, 27-31. 8. 2006.
33. KRŇÁVEK, Martin. *Regionální energetické využití odpadů*. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství : Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Ladislav Bébar, CSc.
34. ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ, FSI VUT v Brně. Waste to Energy (W2E) Software | Ústav procesního inženýrství, FSI VUT v Brně. *Ústav procesního inženýrství, FSI VUT v Brně*. [Online] 2017. [Citace: 12. 01 2017.] Dostupné z: <http://www.upei.fme.vutbr.cz/w2e/>.
35. HÜBNER P., et. al. *Úprava vody pro průmyslové účely*. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. 80-7080-624-9.
36. NOVÁK J. Výchřevnosti paliv - TZB-info. *TZB-info*. [Online] Topinfo s.r.o., 2017. [Citace: 27. 4 2017.] Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv>. ISSN 1801-4399.
37. KRIŠPÍN, Jan. *Modelování proudění vzduchu ve spalovací komoře ZKG*. Bakalářská práce. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, 51 s. : Vedoucí práce Ing. Michal Špiláček, Brno, 2015.
38. CERAM-IBIDEN. Ceram - Company. *Ceram - SCR catalysts*. [Online] CERAM-IBIDEN. [Citace: 28. 3 2017.] Dostupné z: <http://www.ceram-ibiden.com/index.php?tabid=302>.
39. EVROPSKÁ UNIE. Nařízení Evropského parlamentu a rady (ES) č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí, o změně a zrušení směrnic 67/548/EHS a 1999/45/ES a o změně nařízení (ES) č. 1907/2006. *Právo EU - EUR-Lex*. [Online] 31. 12 2008. [Citace: 28. 3 2017.] ISSN 1018-5593. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:353:0001:1355:cs:PDF>.
40. PENTA s.r.o. Bezpečnostní list. *PENTA - výrobce a dodavatel čistých, laboratorních, speciálních, farmaceutických a technických chemikálií*. [Online] 25. 11 2016. [Citace: 4. 4 2017.] Dostupné z: http://www.pentachemicals.eu/bezp_listy/a/bezplist_1.pdf.
41. —. Bezpečnostní list. *PENTA - výrobce a dodavatel čistých, laboratorních, speciálních, farmaceutických a technických chemikálií*. [Online] 18. 10 2012. [Citace: 4. 4 2017.] Dostupné z: http://www.pentachemicals.eu/bezp_listy/h/bezplist_136.pdf.
42. EKOLA group, spol. s.r.o. Rozptylové studie. *Akustika a ochrana životního a pracovního prostředí*. [Online] 2017. [Citace: 11. 4 2017.] Dostupné z: <http://www.ekolagroup.cz/cs/sluzby/rozptylove-studie/>.
43. ČESKO. Zákon č. 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb. *Sbírka zákonů České republiky*. [Online] 10. 11 2006. [Citace: 18. 5 2017.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-499>.
44. MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČR. Posuzování vlivů na životní prostředí (EIA). *Ministerstvo životního prostředí ČR*. [Online] 2015. [Citace: 18. 4 2017.] Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/posuzovani_vlivu_zameru_zivotni_prostredi_eia.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AMS: Automatický měřicí systém	37, 53
BAT: Best available technology.....	22
BREF: Referenční dokumenty o nejlepších dostupných technologiích	17
CO: Oxid uhelnatý	18
CZT: Centrální zásobování teplem	26
DeNOx: Systém odstraňování oxidů dusíku.....	28
DeSOx: Systém odstraňování kyselých složek	28
EVO: Energetické využití odpadu	8
FSI: Fakulta strojního inženýrství	30
HCl: Kyselina chlorovodíková.....	18
HF: Kyselina fluorovodíková	18
HRSG: Heat recovery steam generator - parní kotel pro využití odpadního tepla.....	30
LUVO: Luftwarmer - komerční název předehříváče vzduchu	31
MaR: Měření a regulace	35
MBÚ: Mechanicko-biologická úprava	24
NO _x : Oxidy dusíku	18
PCDD/F: polychlorované dibenzo-p-dioxiny a polychlorované dibenzofurany.....	19
POP: Persistentní organické polutanty.....	28
PS: Provozní soubor	11
SKO: Směsný komunální odpad	9
SO ₂ : Oxid siřičitý.....	18
TEQ: ekvivalent toxicity vztažený na 2,3,7,8-tetrachlordibenzo-p-dioxin	19
TOC: Celkový organický uhlík.....	18
TZL: Tuhé znečišťující látky	18
ÚPI: Ústav procesního inženýrství	30
VUT: Vysoké učení technické.....	30
W2E: Waste to Energy - Výpočetní software pro modelování a simulaci technologických procesů	30
ZEVO: Zařízení energetického využití odpadu	23, 24

SEZNAM SYMBOLŮ

SYMBOL	JEDNOTKA	VÝZNAM
C_{inv}^{Uce}	[mil. Kč]	Celkové investiční náklady na výstavbu ZEVO
C_{real,O_2}	[%]	Skutečná koncentrace kyslíku ve spalínách
$C_{real,A}$	$[mg \cdot m_N^{-3}]$	Koncentrace látky A naměřená
C_{ref,O_2}	[%]	Referenční koncentrace kyslíku (11 %)
$C_{ref,A}$	$[mg \cdot m_N^{-3}]$	Koncentrace látky A přepočtená na referenční kyslík
E_p	$[GJ \cdot rok^{-1}]$	Vyrobená energie ve formě tepla nebo elektřiny
E_{p1p}	$[GJ \cdot rok^{-1}]$	Vyrobená energie ve formě tepla a elektřiny pro letní období
E_{pzp}	$[GJ \cdot rok^{-1}]$	Vyrobená energie ve formě tepla nebo elektřiny pro zimní období
E_e	$[GJ \cdot rok^{-1}]$	Roční množství vyrobené elektrické energie
E_{elp}	$[GJ \cdot rok^{-1}]$	Roční množství vyrobené elektrické energie pro letní období
E_{ezp}	$[GJ \cdot rok^{-1}]$	Roční množství vyrobené elektrické energie pro zimní období
E_f	$[GJ \cdot rok^{-1}]$	Roční energetický vstup do systému z paliv přispívajících k výrobě páry
E_{f1p}	$[GJ \cdot rok^{-1}]$	Roční energetický vstup do systému z paliv přispívajících k výrobě páry pro letní období
E_{fzp}	$[GJ \cdot rok^{-1}]$	Roční energetický vstup do systému z paliv přispívajících k výrobě páry pro zimní období
E_i	$[GJ \cdot rok^{-1}]$	Roční dodaná energie bez E_w a E_f
E_{i1p}	$[GJ \cdot rok^{-1}]$	Roční dodaná energie bez E_w a E_f pro letní období
E_{izp}	$[GJ \cdot rok^{-1}]$	Roční dodaná energie bez E_w a E_f pro zimní období
E_p	$[GJ \cdot rok^{-1}]$	Roční množství vyrobené energie ve formě tepla nebo elektřiny
E_{p1p}	$[GJ \cdot rok^{-1}]$	Roční množství vyrobené energie ve formě tepla nebo elektřiny pro letní období
E_{pzp}	$[GJ \cdot rok^{-1}]$	Roční množství vyrobené energie ve formě tepla nebo elektřiny pro zimní období
E_t	$[GJ \cdot rok^{-1}]$	Roční množství vyrobené tepelné energie
E_{t1p}	$[GJ \cdot rok^{-1}]$	Roční množství vyrobené tepelné energie pro letní období
$E_{t zp}$	$[GJ \cdot rok^{-1}]$	Roční množství vyrobené tepelné energie pro zimní období
E_w	$[GJ \cdot rok^{-1}]$	Roční množství energie obsažené ve zpracovávaných odpadech vypočítané za použití nižší čisté výhřevnosti odpadů
E_{w1p}	$[GJ \cdot rok^{-1}]$	Roční množství energie obsažené ve zpracovávaných odpadech vypočítané za použití nižší čisté výhřevnosti odpadů pro letní období
E_{wzp}	$[GJ \cdot rok^{-1}]$	Roční množství energie obsažené ve zpracovávaných odpadech vypočítané za použití nižší čisté výhřevnosti odpadů pro zimní období
K_{rok}	$[kt \cdot rok^{-1}]$	Roční zpracovatelská kapacita ZEVO
R_1	[-]	Energetická účinnost R1
R_{11p}	[-]	Energetická účinnost R1 pro zimní období
R_{1zp}	[-]	Energetická účinnost R1 pro zimní období

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1.1 – RÁMCOVÝ ALGORITMUS NÁVRHU ZAŘÍZENÍ EVO	11
OBR. 2.1 – MEZINÁRODNÍ SROVNÁNÍ STRUKTURY NAKLÁDÁNÍ S ODPADY [%]	12
OBR. 2.2 – ZÁVISLOST MĚRNÝCH CELKOVÝCH NÁKLADŮ NA KAPACITĚ EVO PRO RŮZNÉ MĚRNÉ NÁKLADY NA DOPRAVU [6].	13
OBR. 2.3 – ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA ŘEŠENÉHO ZAŘÍZENÍ EVO S VYZNAČENÍM HLAVNÍCH PROVOZNÍCH SOUBORŮ, VIZ PŘÍLOHA 1. ...	15
OBR. 2.4 – PŘÍKLAD SESTAVENÍ ALTERNATIVNÍCH SYSTÉMŮ ČIŠTĚNÍ SPALIN [17]	16
OBR. 2.5 – PŘÍKLAD SESTAVENÍ ALTERNATIVNÍCH SYSTÉMŮ ČIŠTĚNÍ SPALIN [17]	17
OBR. 2.6 – PŘÍKLAD SESTAVENÍ ALTERNATIVNÍCH SYSTÉMŮ ČIŠTĚNÍ SPALIN [17]	17
OBR. 2.7 – HIERARCHIE NAKLÁDÁNÍ S ODPADY [5]	19
OBR. 2.8 – ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA ZAŘÍZENÍ PRO ENERGETICKÉ VYUŽITÍ ODPADU S PROCESY A ENERGETICKÝMI PROUDY	20
OBR. 3.1 – ROZDĚLENÍ ÚZEMÍ ČR DO UZLŮ, DOPRAVNÍ INFRASTRUKTURA MODELU A KLÍČOVÉ PRVKY [8].....	28
OBR. 3.2 – TYPICKÝ PRŮBĚH SPOTŘEBY TEPLA SE ZOBRAZENÍM PŘÍKLADŮ MOŽNÝCH PROVOZNÍCH REŽIMŮ [33].	29
OBR. 4.1 – BLOKOVÉ SCHÉMA ŘEŠENÉHO ZEVO (VIZ PŘÍLOHA 2)	32
OBR. 5.1 – VIZUALIZACE SKLADOVACÍHO BUNKRU ODPADU (VIZ PŘÍLOHA 7)	43
OBR. 5.2 – VIZUALIZACE SPALOVACÍHO ZAŘÍZENÍ A UTILIZACE TEPLA (VIZ PŘÍLOHA 7)	44
OBR. 5.3 – VIZUALIZACE ČIŠTĚNÍ SPALIN (VIZ PŘÍLOHA 7)	49
OBR. 5.4 – VIZUALIZACE POMOCNÝCH PROVOZŮ (VIZ PŘÍLOHA 7)	53
OBR. 6.1 – SCHÉMA LOGIKY POSTUPU PŘI NÁVRHU DISPOZIČNÍHO ŘEŠENÍ.....	61
OBR. 6.2 – SCHÉMA NÁVAZNOSTI APARÁTŮ TECHNOLOGIE ZEVO	63
OBR. 6.3 – SCHÉMATICKÝ NÁKRES DISPOZICE VELKÝCH CELKŮ	64
OBR. 6.4 – SCHÉMATICKÝ NÁKRES DISPOZICE HLAVNÍCH CELKŮ	66
OBR. 6.5 – SCHÉMATICKÝ NÁKRES ŘEŠENÍ OBSLUŽNÝCH KOMUNIKACÍ	68
OBR. 6.6 – VIZUALIZACE KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ ZEVO – POHLED SV (VIZ PŘÍLOHA 7)	69
OBR. 6.7 – VIZUALIZACE KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ ZEVO – POHLED JV (VIZ PŘÍLOHA 7).....	70
OBR. 6.8 – VIZUALIZACE VJEZDU DO ZEVO (VIZ PŘÍLOHA 7)	71
OBR. 6.9 – VIZUALIZACE KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ ZEVO – POHLED SV (VIZ PŘÍLOHA 7)	72
OBR. 6.10 – VIZUALIZACE KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ ZEVO – POHLED JV (VIZ PŘÍLOHA 7)	73
OBR. 10.1 – METODIKA ŘEŠENÍ ZAHRNÚJÍCÍ KOMPLEXNÍ PŘÍSTUP	77

SEZNAM TABULEK

TAB. 1 – EMISNÍ LIMITY PRO ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY ZJIŠŤOVANÉ PRIMÁRNĚ KONTINUÁLNÍM MĚŘENÍM [20]	21
TAB. 2 – EMISNÍ LIMITY PRO ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY ZJIŠŤOVANÉ PRIMÁRNĚ JEDNORÁZOVÝM MĚŘENÍM [20]	22
TAB. 3 – LIMITNÍ HODNOTY EMISÍ PRO VYPOUŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD Z PROCESŮ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH PLYNŮ (SPALIN) [25]	24
TAB. 4 – HLAVNÍ BILANČNÍ HODNOTY PRO LETNÍ OBDOBÍ	36
TAB. 5 – HLAVNÍ BILANČNÍ HODNOTY PRO ZIMNÍ OBDOBÍ	37
TAB. 6 – TABULKA SOUHRNU INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ ZEVO.....	75
TAB. 7 – TABULKA BILANCE INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ ZEVO	76

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Zjednodušené schéma řešeného zařízení EVO s vyznačením hlavních PS

P1_F01 – Zjednodušené schéma zařízení EVO

Příloha 2 – Blokové schéma ZEVO

P2_F02 – Blokové schéma ZEVO

Příloha 3 – Bilanční schémata W2E

P3_B01 – 20 kt zimní provoz

P3_B02 – 20 kt letní provoz

Příloha 4 – Seznam aparátů

P4_S01 – Seznam aparátů

Příloha 5 – Strojně-technologické schéma

P5_T01 – Strojně-technologické schéma

Příloha 6 – Data-sheety

P6_D01 – Data-sheet skladovací bunkr odpadu

P6_D02 – Data-sheet spalovací komora

P6_D03 – Data-sheet dohořivací komora

P6_D04 – Data-sheet sběrná nádrž kondenzátu

P6_D05 – Data-sheet nádrž napájecí vody s termickým odplyňovačem

P6_D06 – Data-sheet protitlaká turbína

P6_D07 – Data-sheet výměník tepla chladicího okruhu

P6_D08 – Data-sheet vzduchové mařiče tepla

P6_D09 – Data-sheet expanzní nádoba chladicího okruhu

P6_D10 – Data-sheet kontaktor

P6_D11 – Data-sheet tkaninový filtr I.

P6_D12 – Data-sheet recirkulační ventilátor spalin

P6_D13 – Data-sheet spalinový ventilátor I.

P6_D14 – Data-sheet spalinový ventilátor II.

P6_D15 – Data-sheet SCR reaktor

P6_D16 – Data-sheet tkaninový filtr II.

P6_D17 – Data-sheet nádrž čpavkové vody

P6_D18 – Data-sheet zásobní silo sorbentu I.

P6_D19 – Data-sheet zásobní silo popílku I.

P6_D20 – Data-sheet kompresor

P6_D21 – Data-sheet vzdušník

P6_D22 – Data-sheet sušička tlakového vzduchu

P6_D23 – Data-sheet parní výměník tepla – horkovodní síť A

P6_D24 – Data-sheet parní výměník tepla – horkovodní síť B

P6_D25 – Data-sheet parní výměník tepla pro dohřev – horkovodní síť

Příloha 7 – Vizualizace

P7_R01 – Vizualizace celkové dispozice 1

P7_R02 – Vizualizace celkové dispozice 2

P7_R03 – Vizualizace vjezdu do ZEVO

P7_R04 – Vizualizace celkové dispozice 4

P7_R05 – Vizualizace celkové dispozice 5

P7_R06 – Vizualizace spalování a utilizace tepla

P7_R07 – Vizualizace čištění spalín

P7_R08 – Vizualizace pomocných provozů

P7_R09 – Vizualizace skladovacího bunkru odpadu

Příloha 8 – Dispoziční výkresy

P8_V01 – Celková dispozice – čelní a horní pohled

P8_V02 – Celková dispozice – zadní a boční pohledy

P8_V03 – Dispozice technologie – půdorys

P8_V04 – Dispozice technologie – řez + 17,000

P8_V05 – Dispozice technologie – řez + 13,700

P8_V06 – Dispozice technologie – řez + 11,370

P8_V07 – Dispozice technologie – řez + 6,600

P8_V08 – Dispozice technologie – řez + 3,000

Příloha 9 – Výpis bilančních hodnot

P9_S02 – Výpis bilančních hodnot pro zimní provoz

P9_S03 – Výpis bilančních hodnot pro letní provoz